



## -TERCERA ETAPA-



San Bartolomé

**Desarrollo Experimental  
del Proyecto.**

**Procesamiento de Datos e  
Interpretación de  
Resultados.**

**Comportamiento Sísmico  
Experimental de la Albañilería**



# CONSTRUCCIÓN DE ESPECÍMENES



**TRANSPORTE  
CON PUENTE GRÚA  
HACIA LA NAVE  
DE ENSAYOS**



actuator  
dinámico

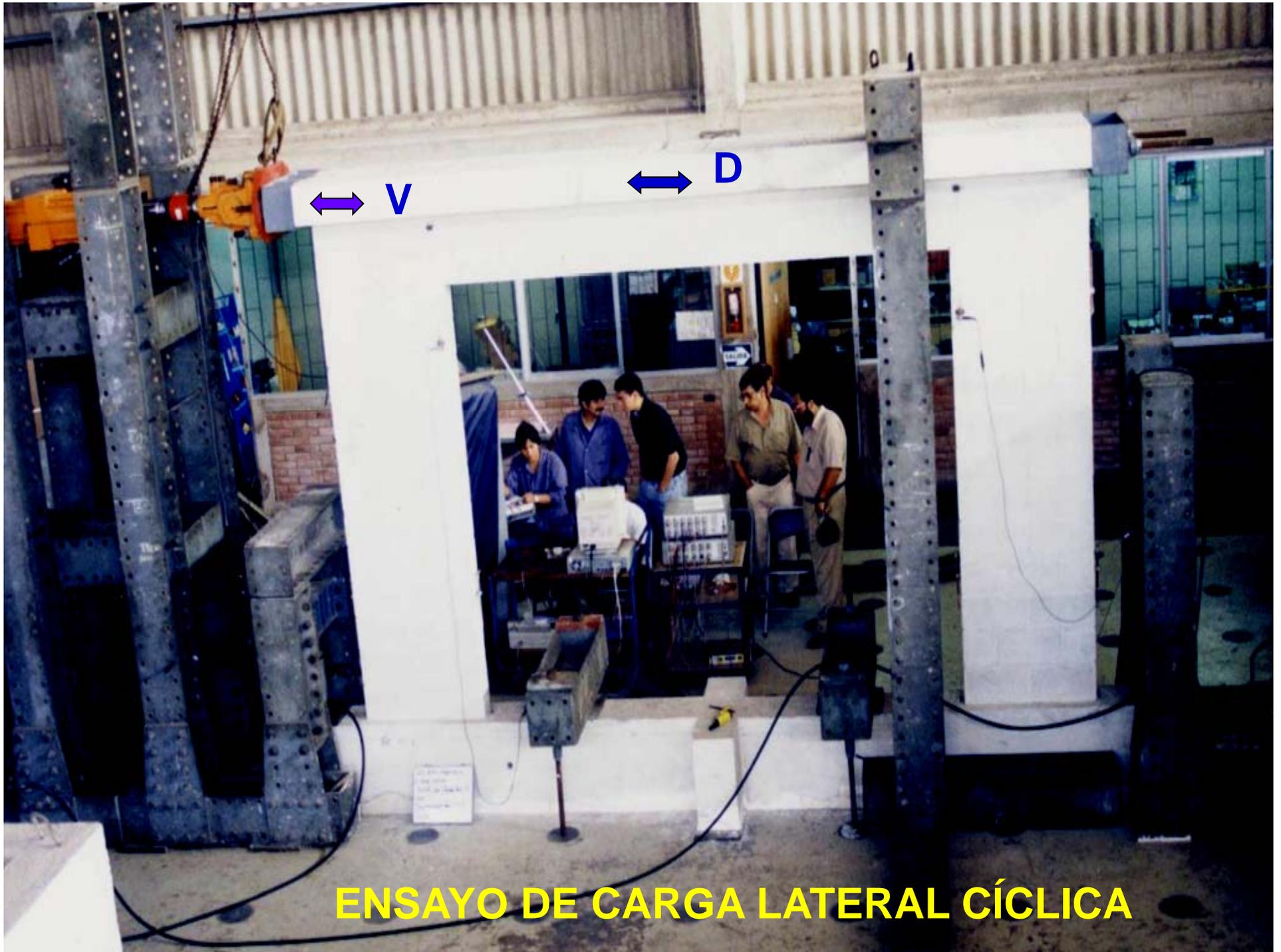
Muro

Sistema de Adquisición de Datos

Losa de ensayos



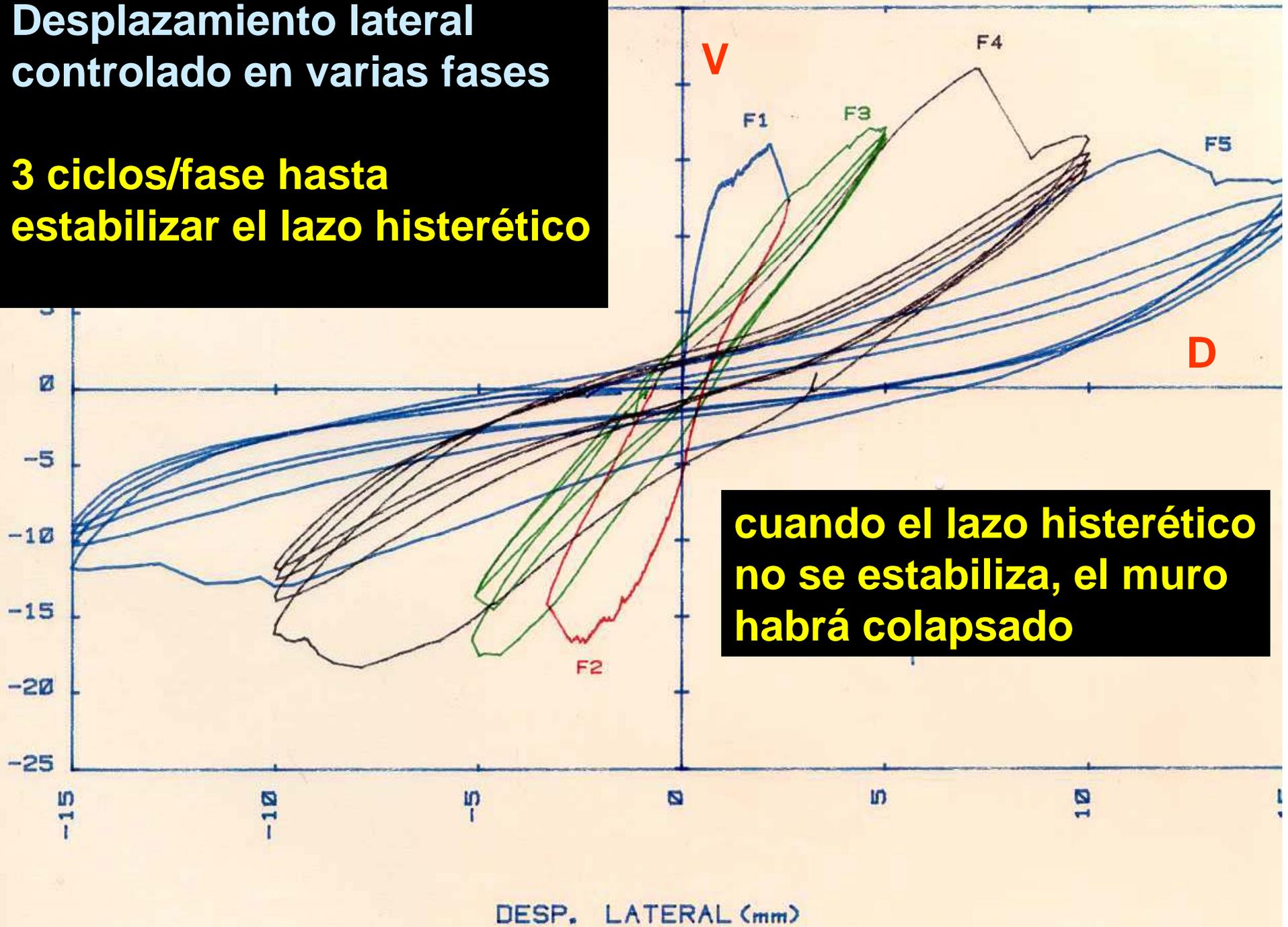
**EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE CARGA LATERAL**



**ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA**

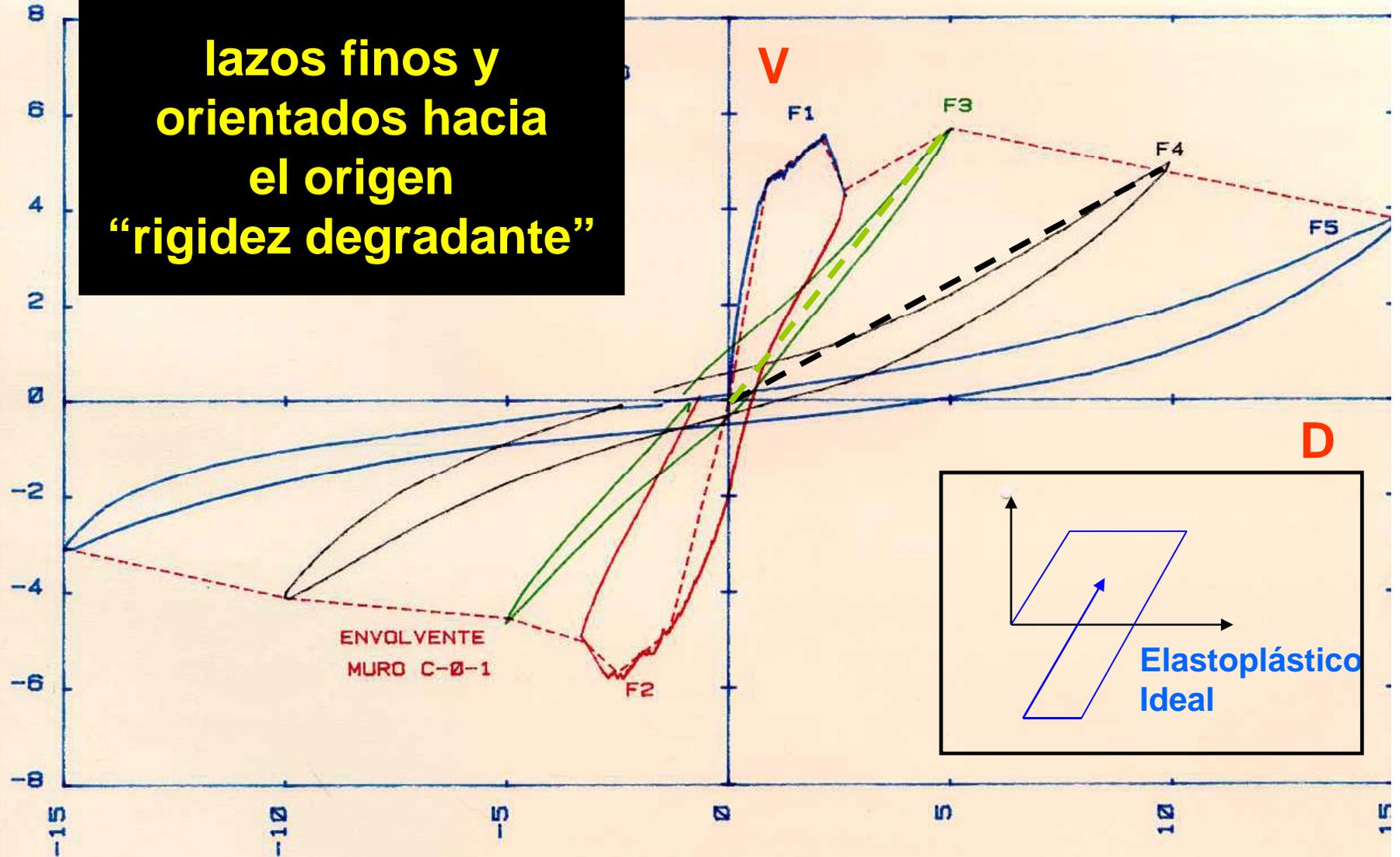
**Desplazamiento lateral controlado en varias fases**

**3 ciclos/fase hasta estabilizar el lazo histerético**

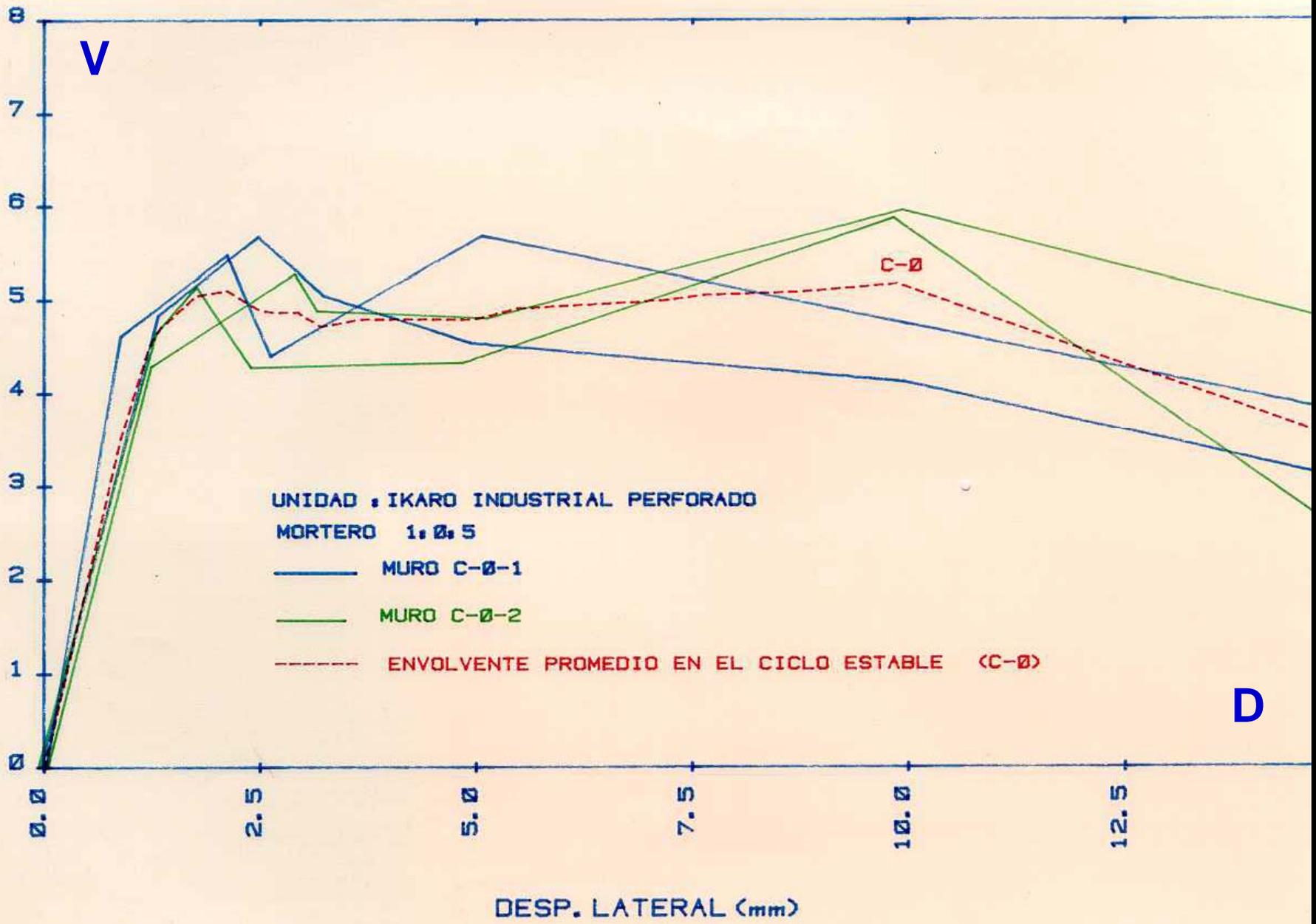


**cuando el lazo histerético no se estabiliza, el muro habrá colapsado**

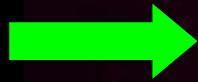
lazos finos y orientados hacia el origen "rigidez degradante"



ENVOLVENTE DE LOS LAZOS HISTERÉTICOS ESTABLES



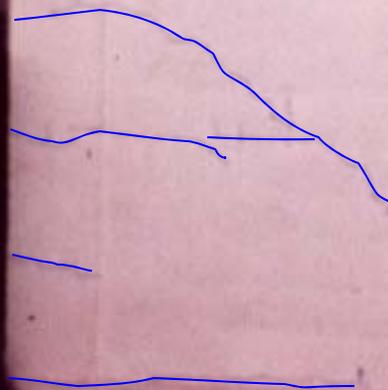
ENVOLVENTE PROMEDIO-CICLO ESTABLE (SERIE C-0)



$V_F$

PROYECTO: ESTACIÓN - PUCP  
N°: 3188  
MODO: A - 1 - 1  
FASE: I  
FECHA: 23 - 12 - 82

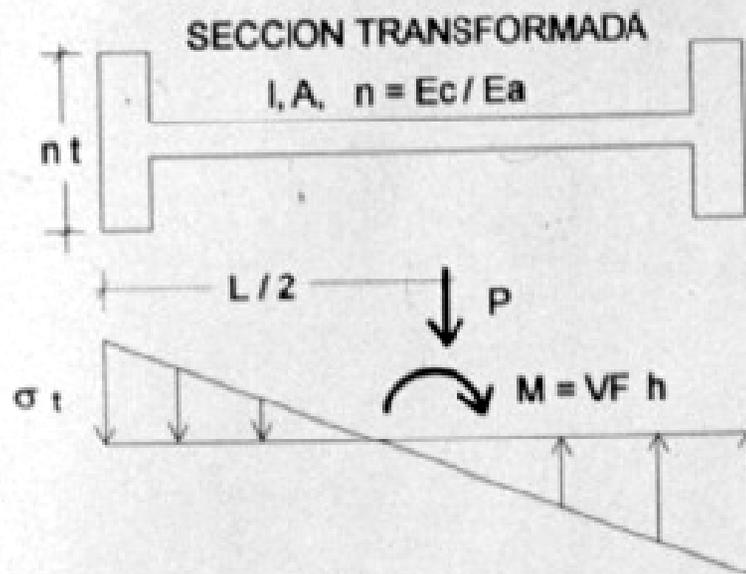
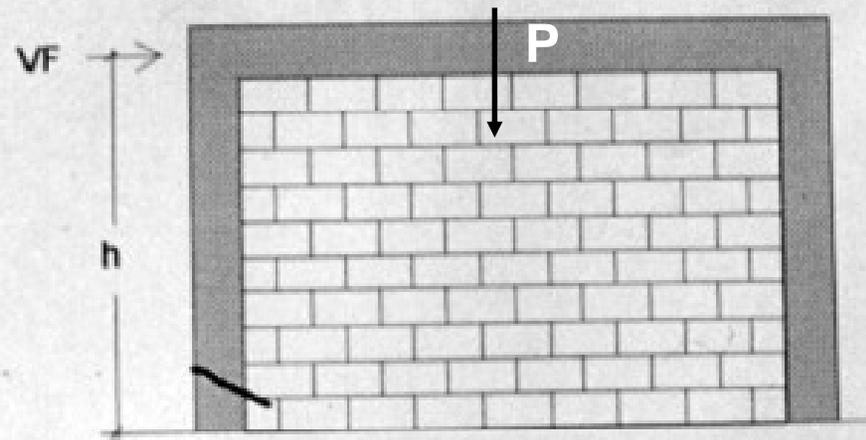
A-1-1



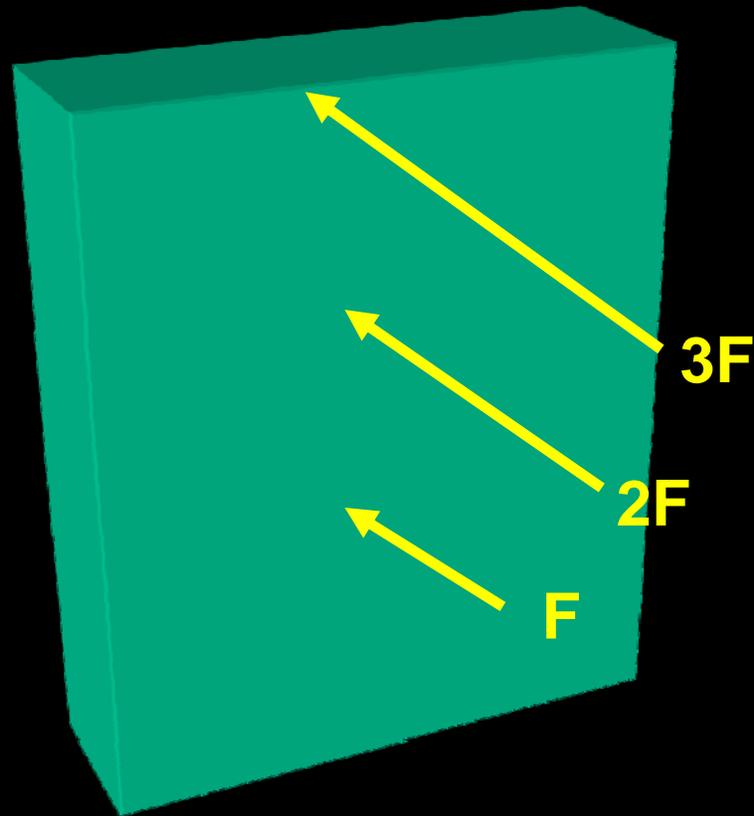
$\sigma = 20 \text{ kg/cm}^2(\text{C})$   
 $\sigma = 10 \text{ kg/cm}^2(\text{MA})$   
 $\sigma = 5 \text{ kg/cm}^2 (\text{A})$

**Primera Fisura Visible de Tracción por Flexión (punto F)**  
**Primero fisura el concreto y después la albañilería**

**Predicción de la carga asociada a la Fisura por Flexión ( $V_F$ ) en un muro confinado**



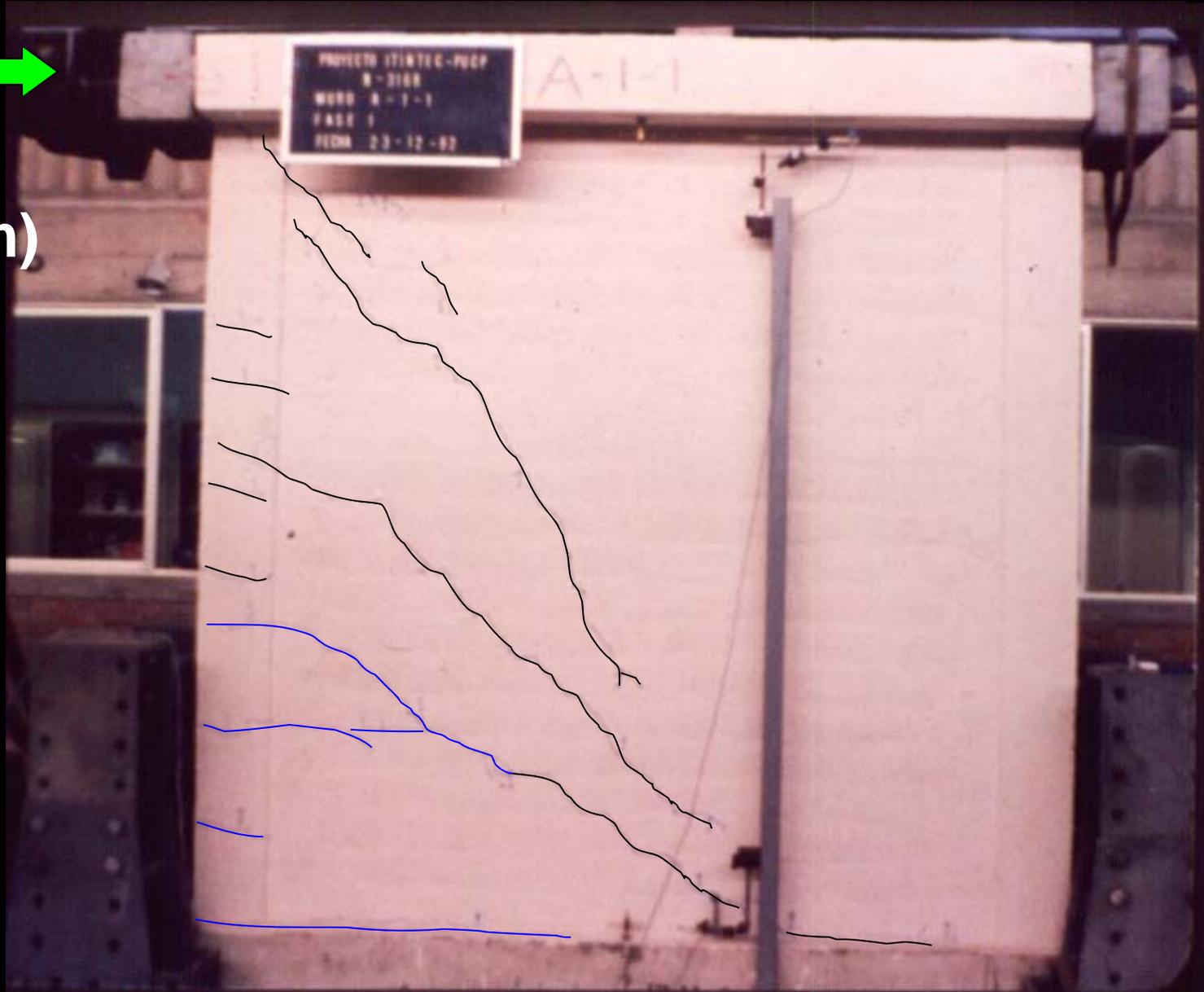
$$\sigma_t = -\frac{P}{A} + \frac{V_F h L/2}{I} = \frac{f_{\sigma}}{n} = \frac{2\sqrt{f_c}}{n}$$



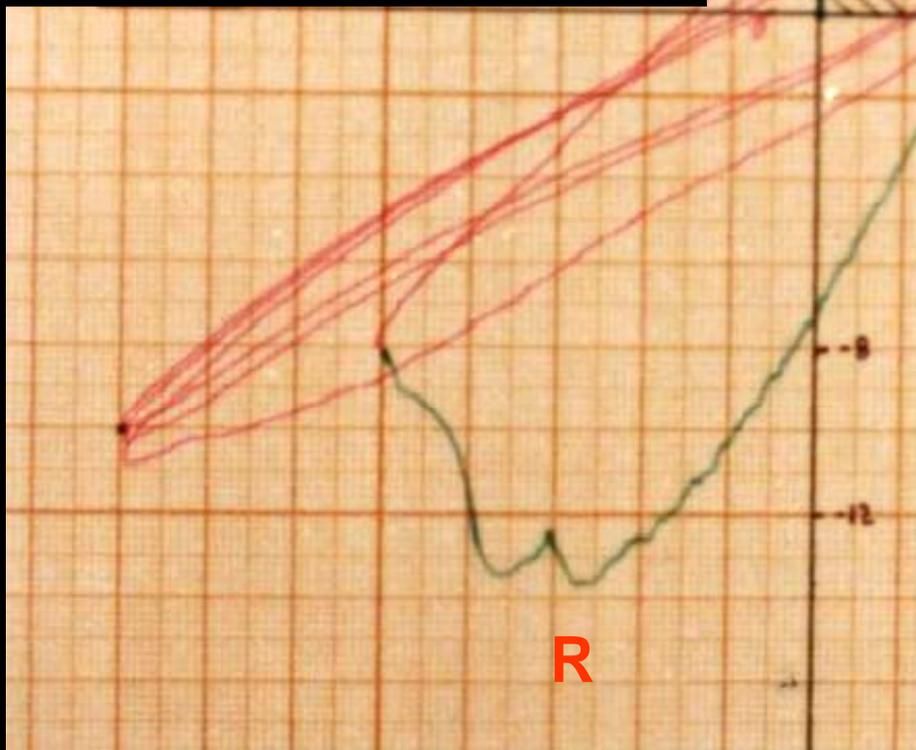
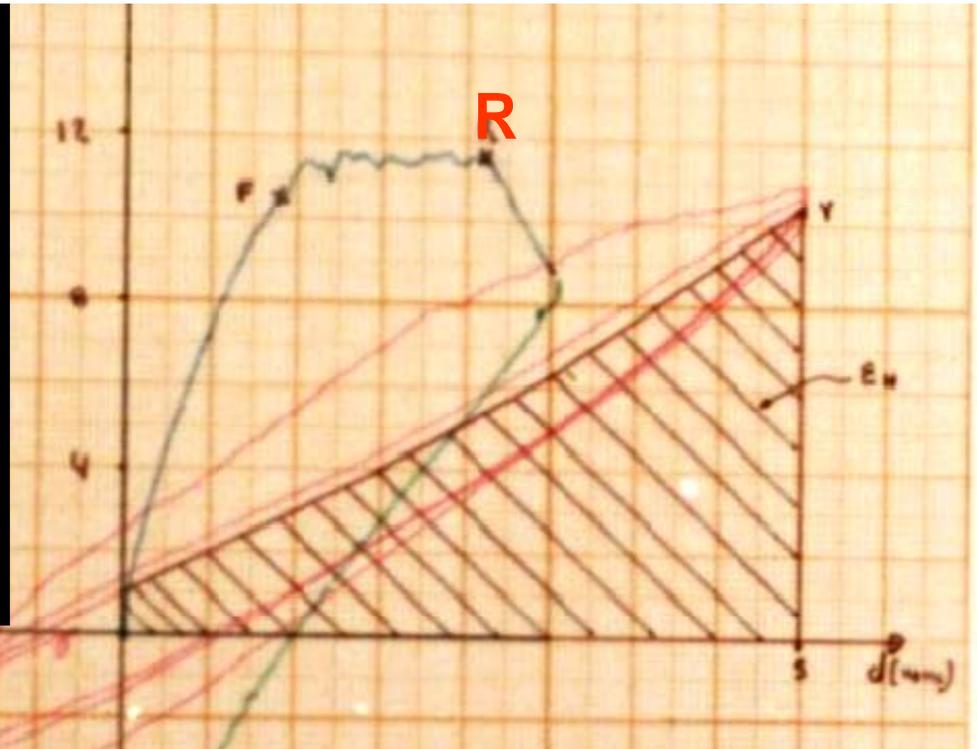
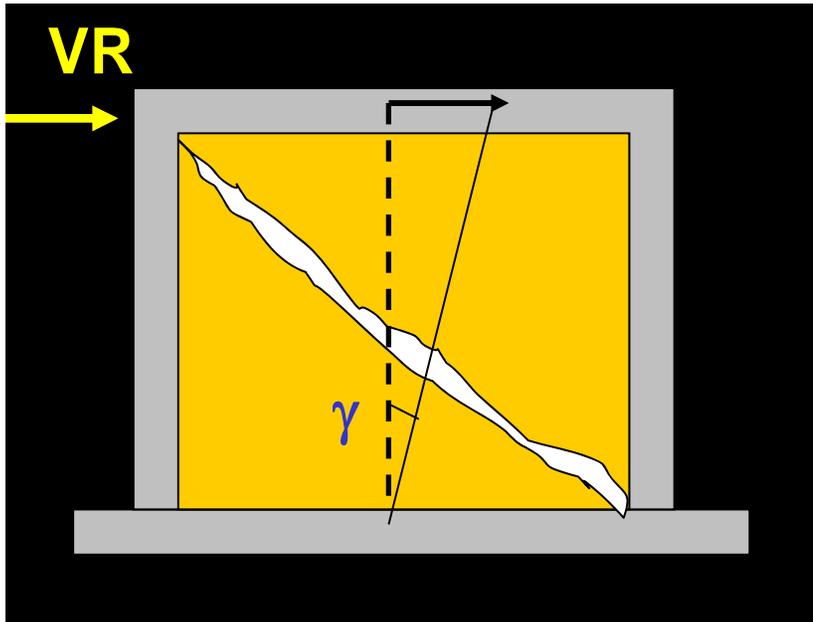
**En un edificio, puede aplicarse una distribución de fuerzas triangulares (función de  $F$ ), resolverlo  $M(F)$  y luego, igualando  $\sigma_t$  a la resistencia a tracción por flexión en el, muro más esforzado, despejar  $F$ .**



VR  
(Vm)



**ROTURA DIAGONAL (punto "R" o "m" en la Norma E.070)**



**El punto R ocurre  
para una distorsión  
angular  $\gamma$  del  
orden de  
1 / 800**

La albañilería es muy frágil, con una distorsión de 1/800 se fractura



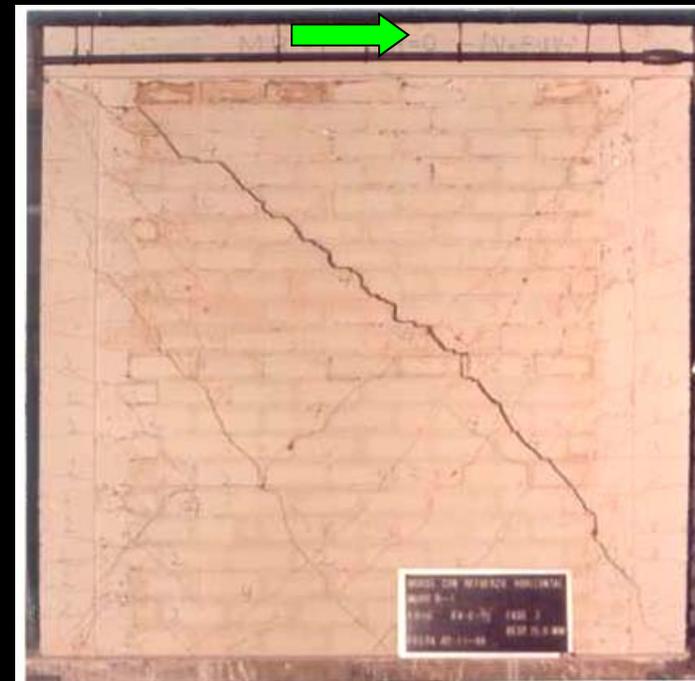
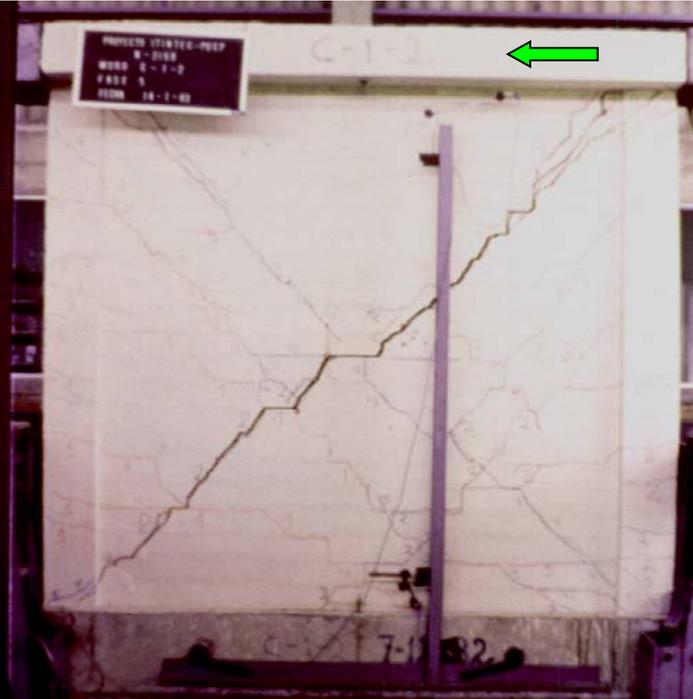
# LÍMITE DE REPARACIÓN

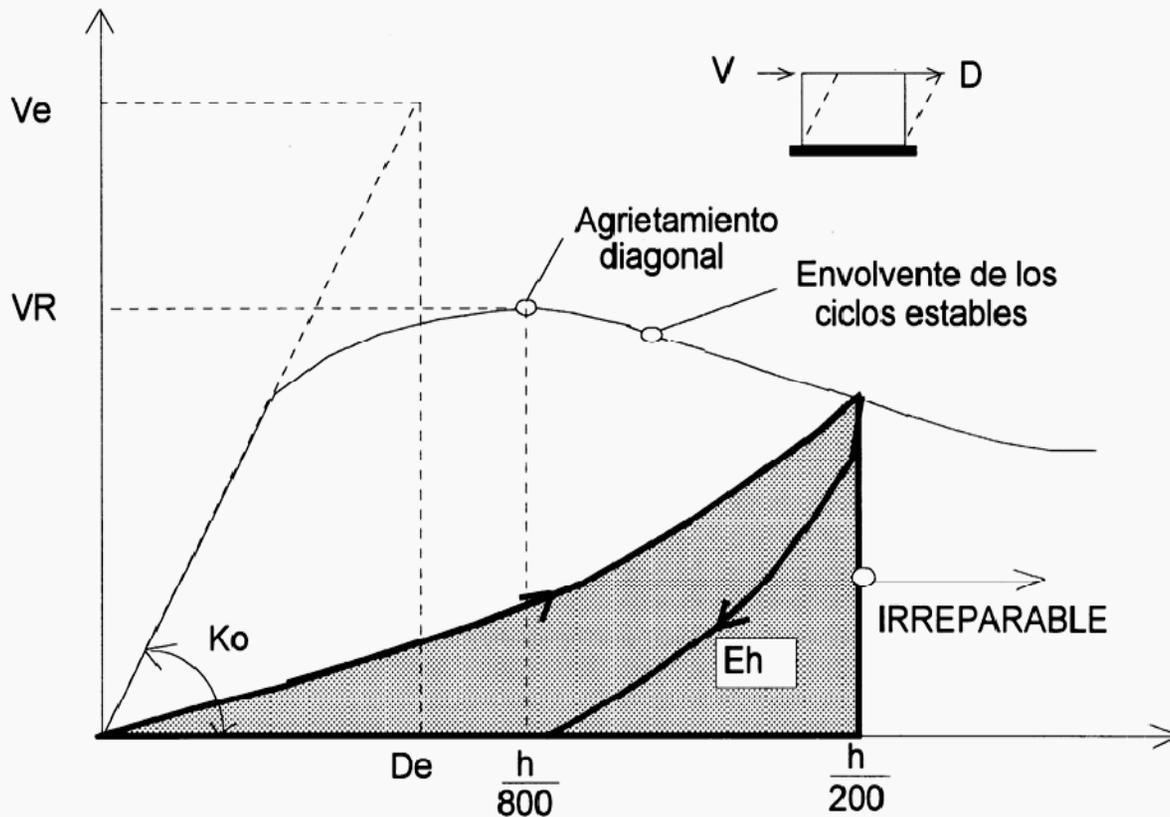
**Distorsión = 1 / 200**

$$\gamma = 0.005$$

**Esta es la deriva inelástica máxima permitida (0.005) por la Norma Sísmica E.030**

**Mas allá se trituran la albañilería y las columnas, perdiéndose la última línea de defensa.**





$$R = \frac{V_e}{V_R} = \sqrt{\frac{2 K_o E_h}{V_R}}$$

$K_o$  = Rigidez Lateral Inicial Experimental

$E_h$  = Capacidad de Absorción de Energía Inelástica

$E_e$  = Energía Elástica Equivalente =  $\frac{1}{2} V_e D_e = \frac{1}{2} V_e^2 / K_o$

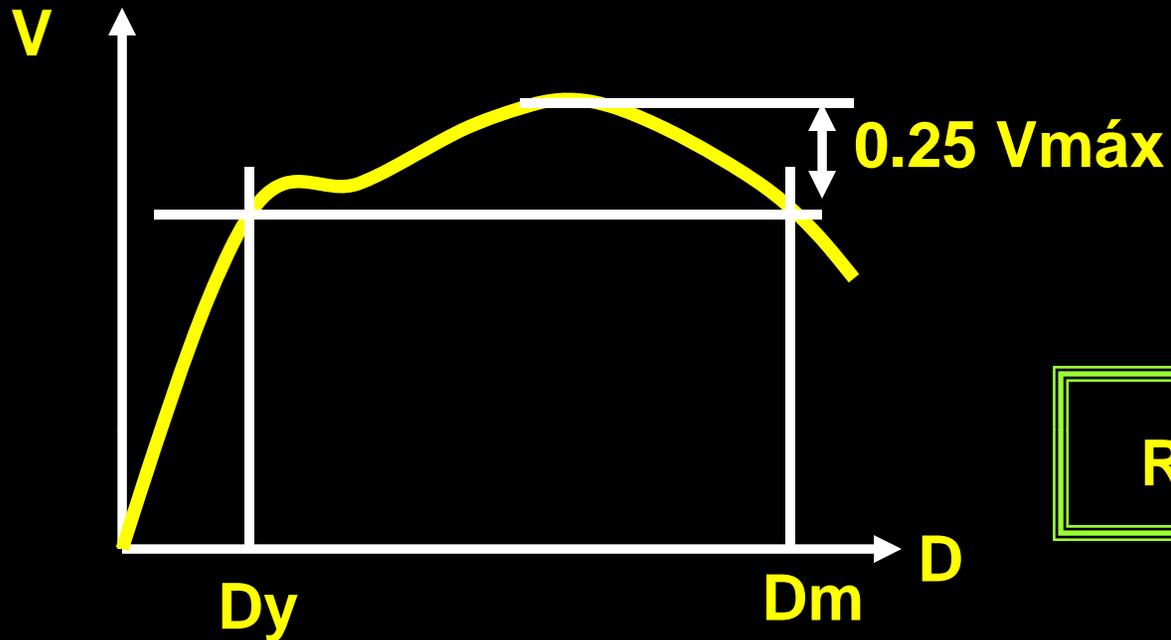
## CÁLCULO EXPERIMENTAL DE "R"

Para muros bien diseñados  
 $R = 2.5$

Para muros con mucha carga axial y mal diseñados  
 $R = 1.8$

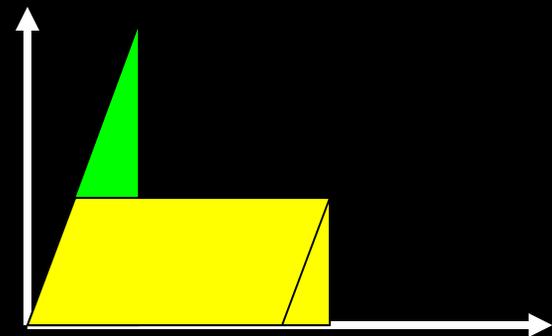
En la Norma E.030 se utiliza  $R = 3$ , por el exceso de resistencia que tienen los edificios

## Otro criterio para calcular R



$$R = \sqrt{2\mu - 1}$$

**Este criterio no contempla la degradación de rigidez y conduce a valores altos de R.**

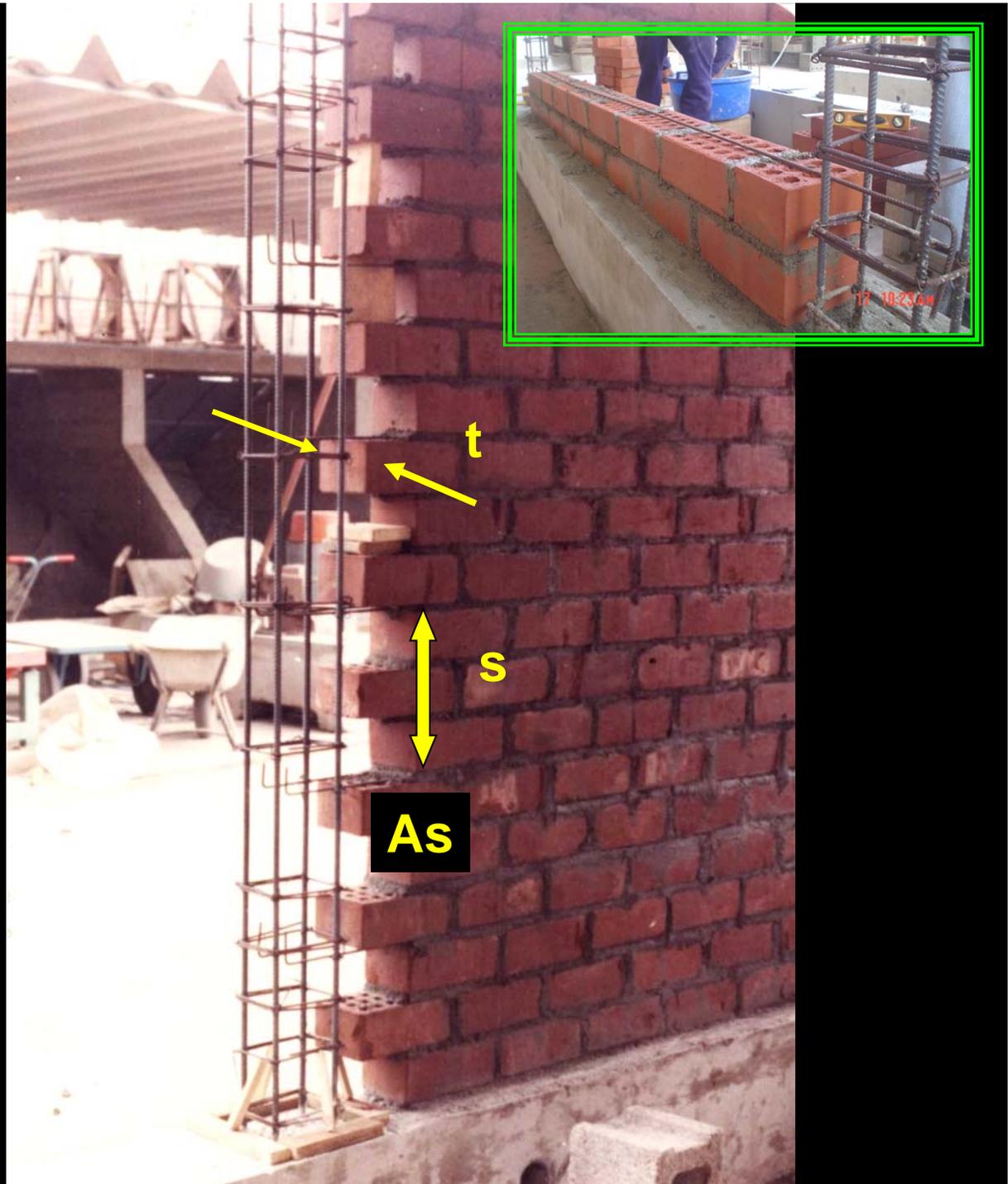
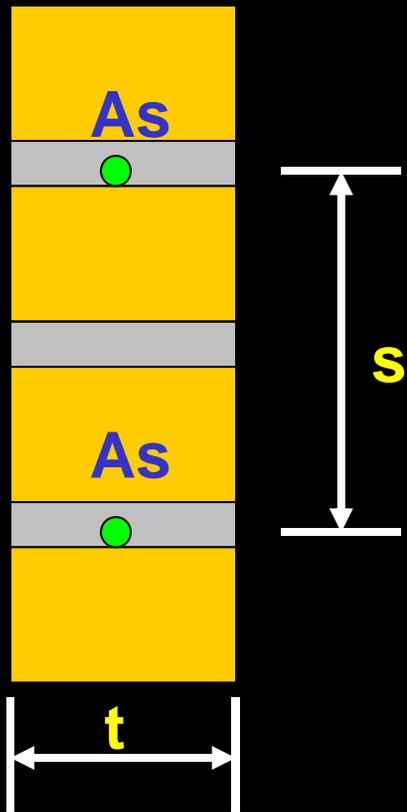


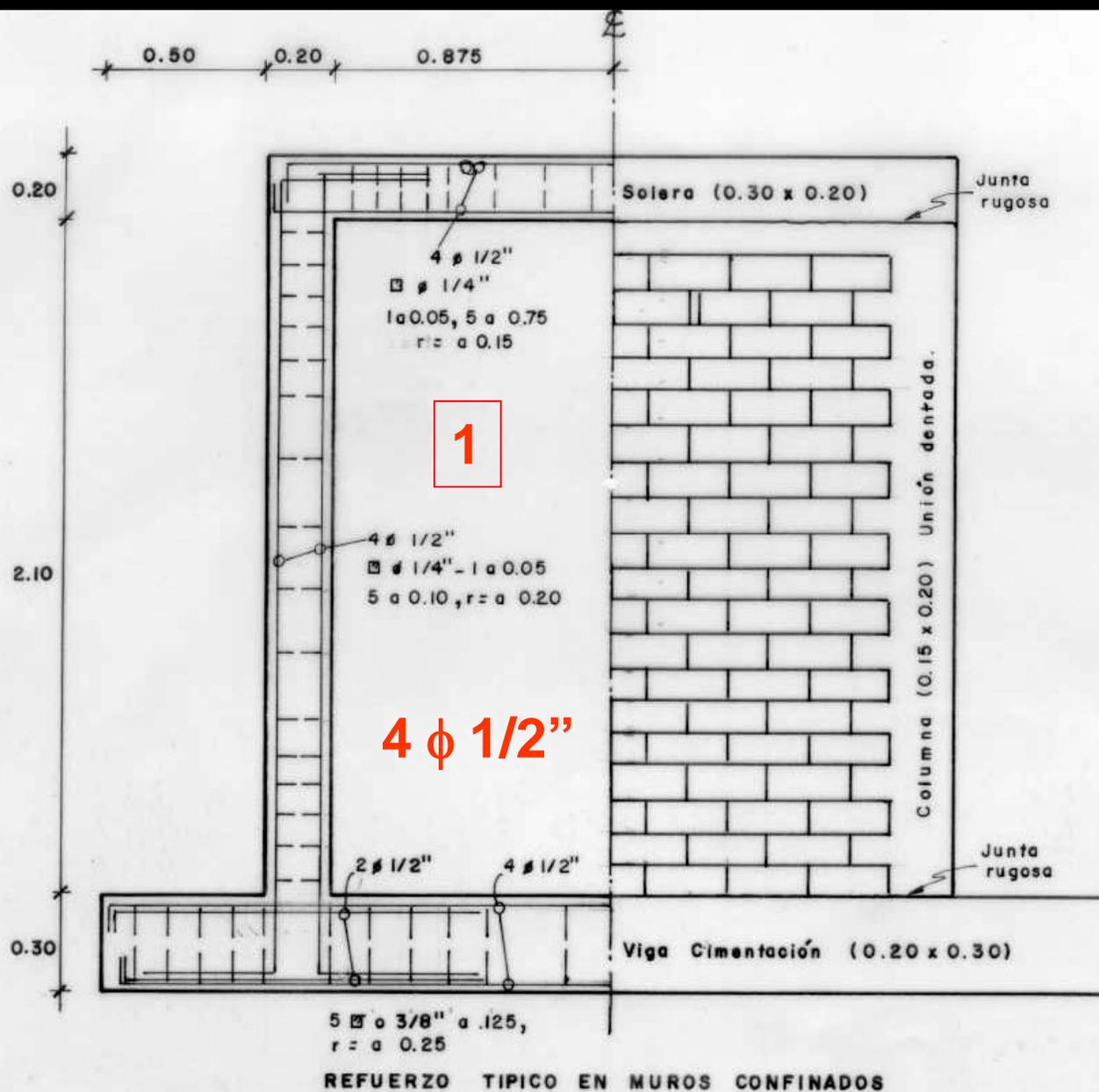
# Resultados de algunas Investigaciones

**Efectos del Refuerzo  
Vertical y Horizontal  
sobre el  
Comportamiento  
Sísmico de los Muros**

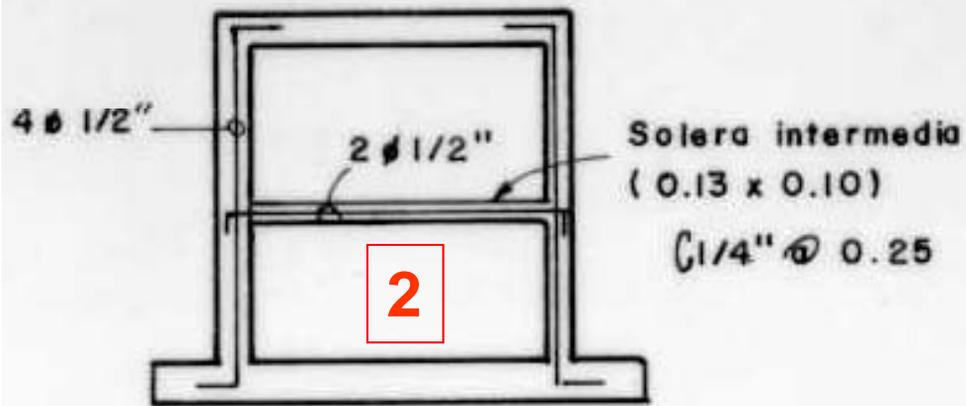
# Cuantía de Refuerzo Horizontal

$$\rho = A_s / (s t)$$

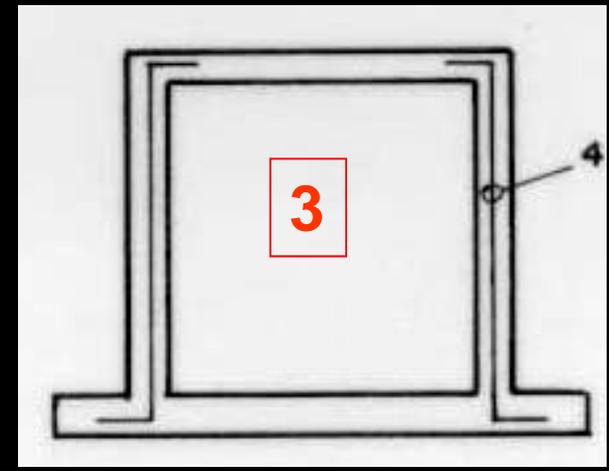




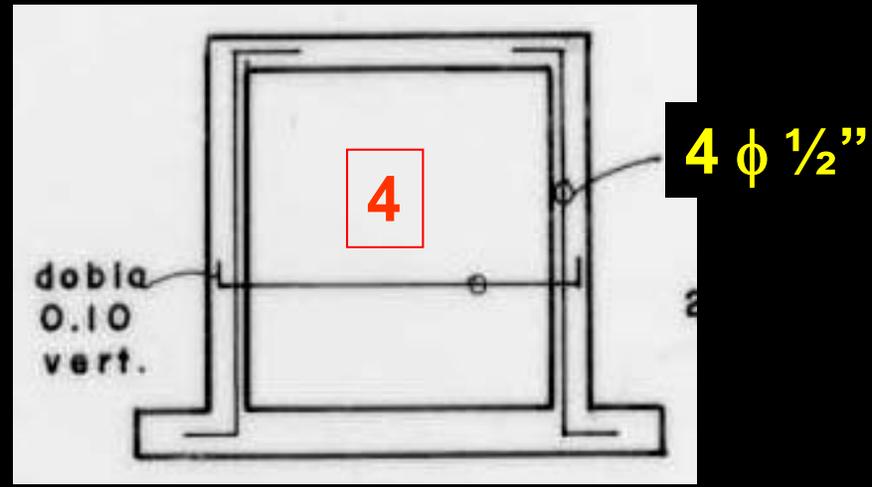
**Muro Patrón, sin refuerzo horizontal**



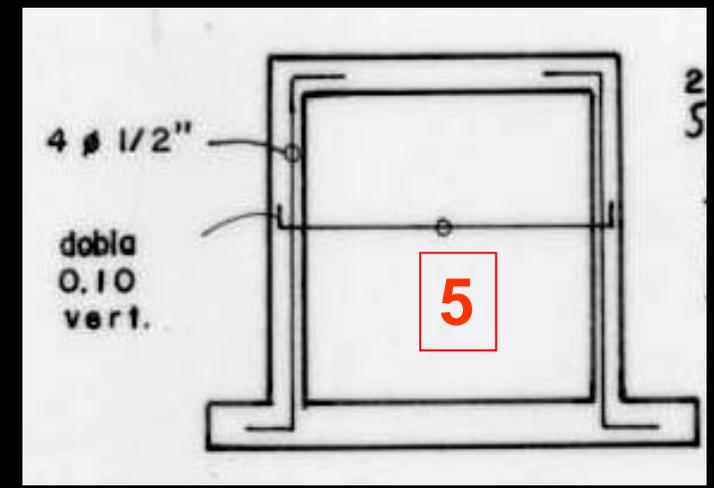
**solera intermedia**



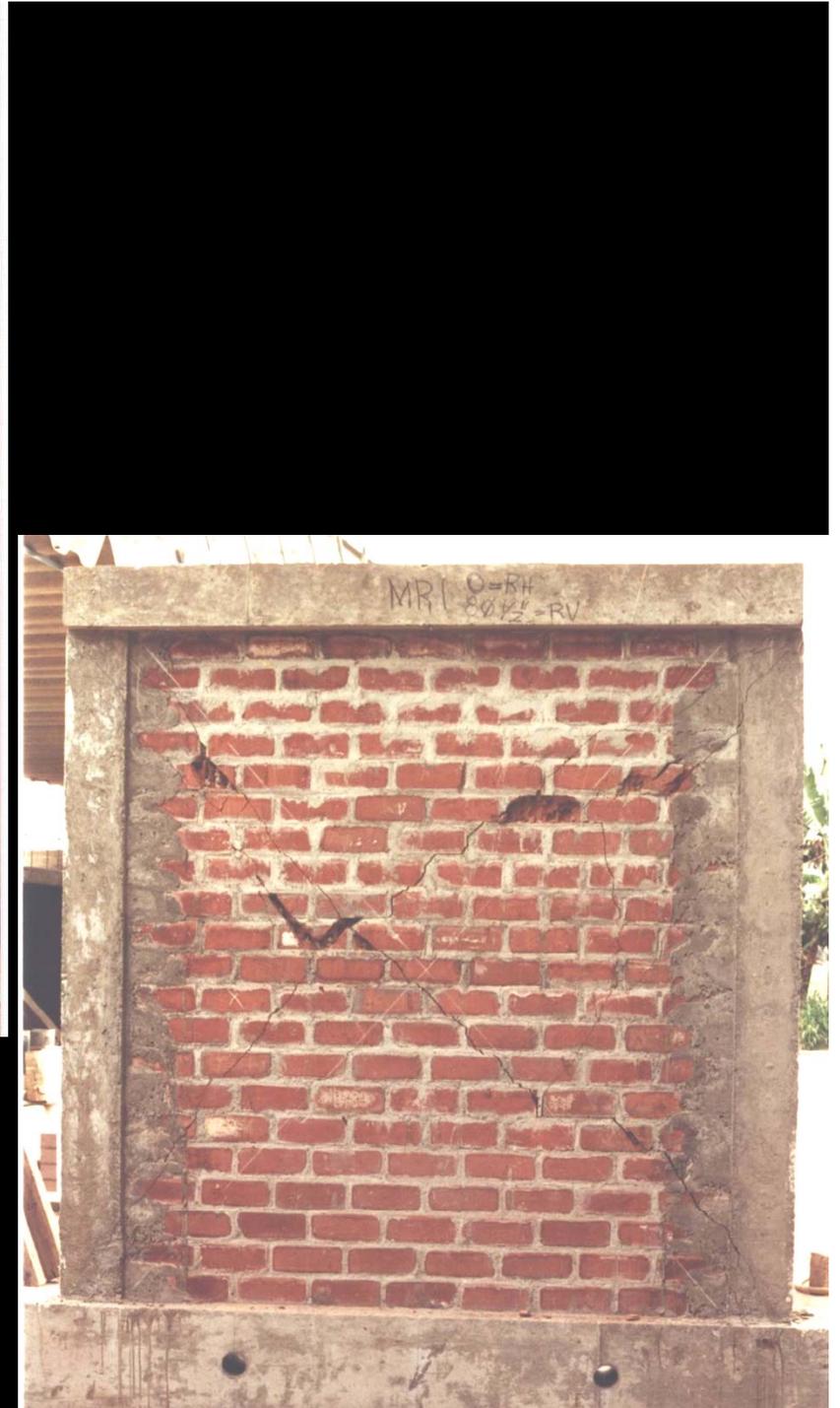
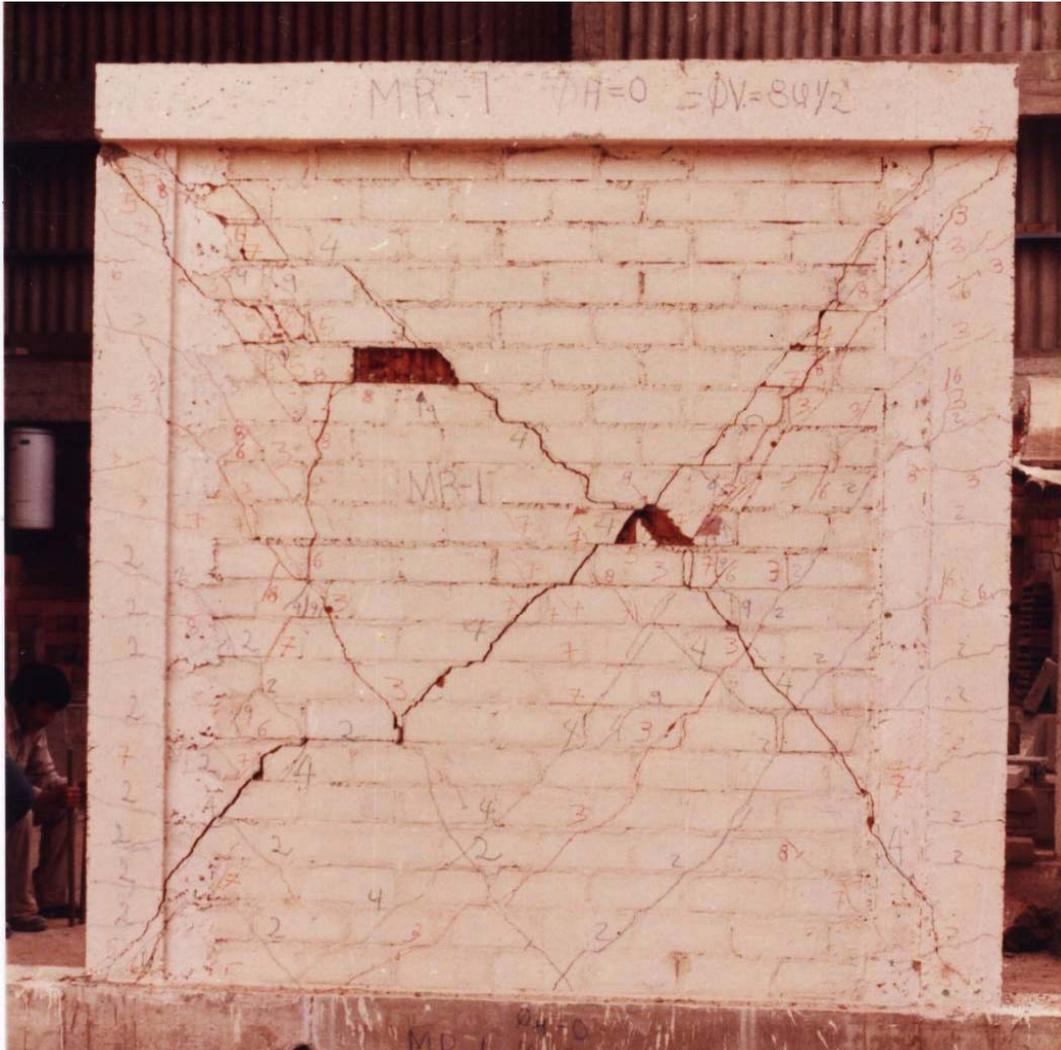
**4 φ 3/8''**



**$\rho = 0.16\%$**

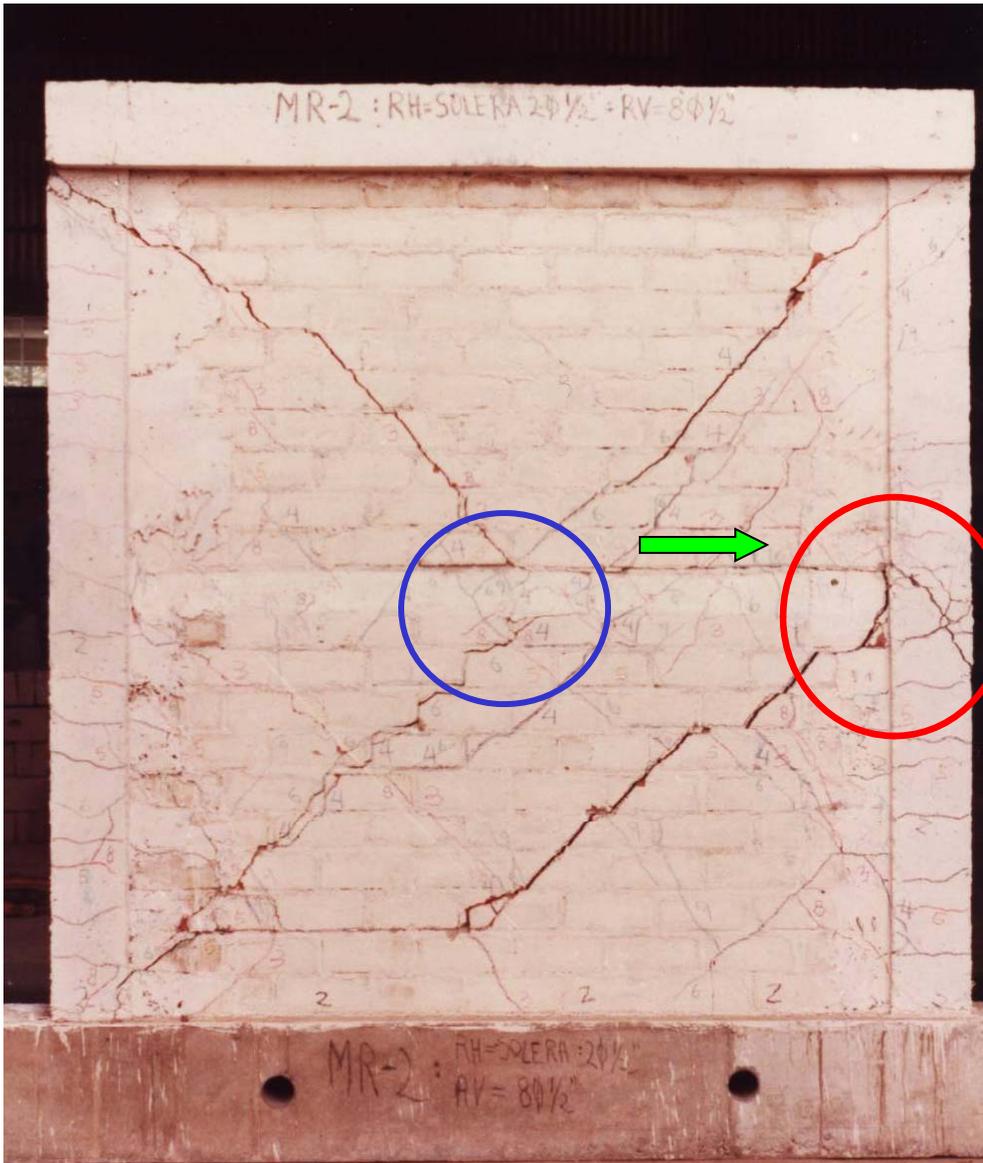


**$\rho = 0.08\%$**



## Falla del Muro 1 (Patrón)

Deterioro de ladrillos y grietas remanentes de gran grosor.



## Falla del Muro 2



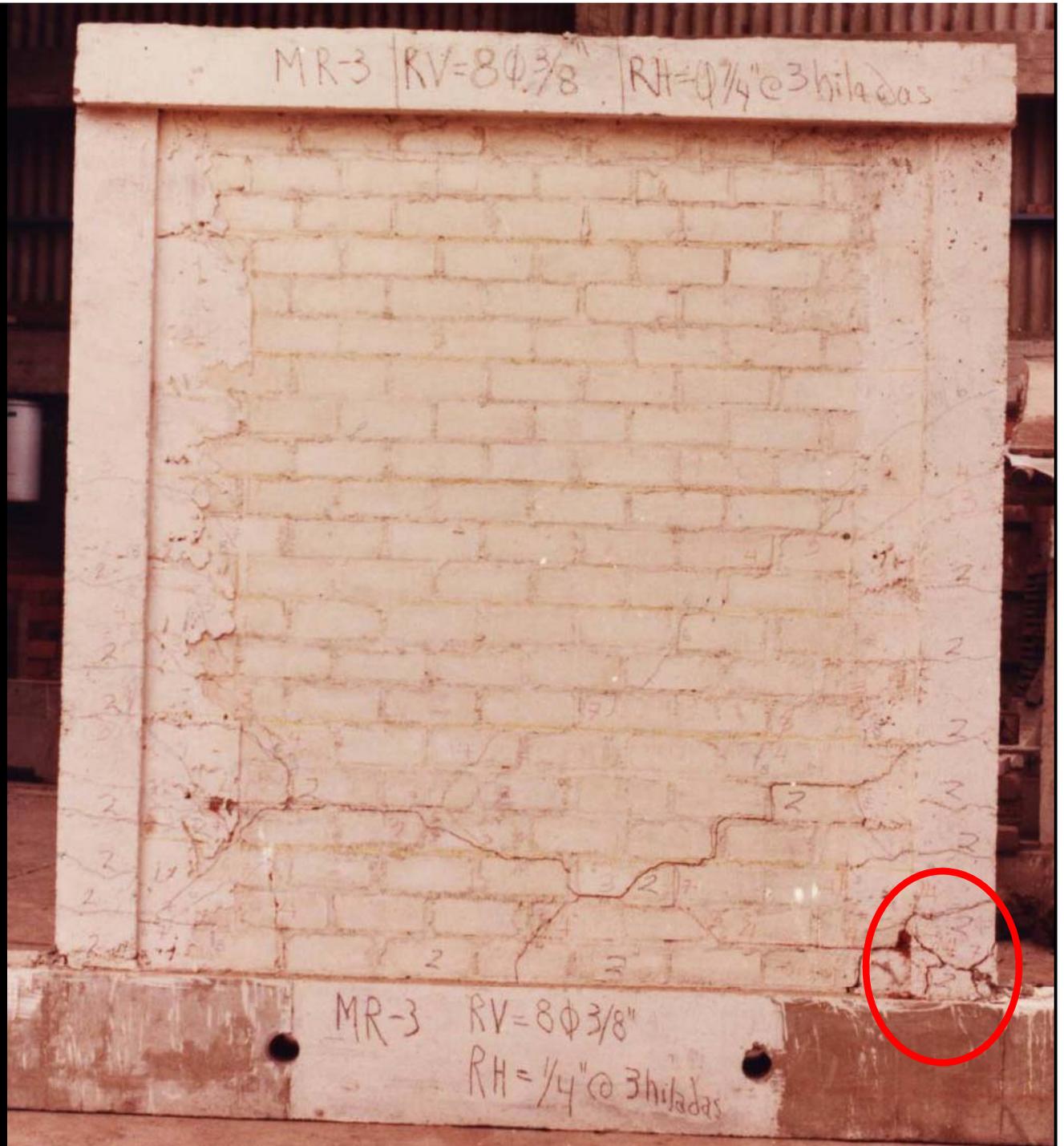


**Falta de estribos  
en la unión  
columna-  
solera intermedia**

**Pese a tener los  
mejores resultados,  
esta solución se  
descartó, porque la  
construcción se  
retarda 1 día.**

**Falla por Flexión del Muro 3**

**4  $\phi$  3/8"**



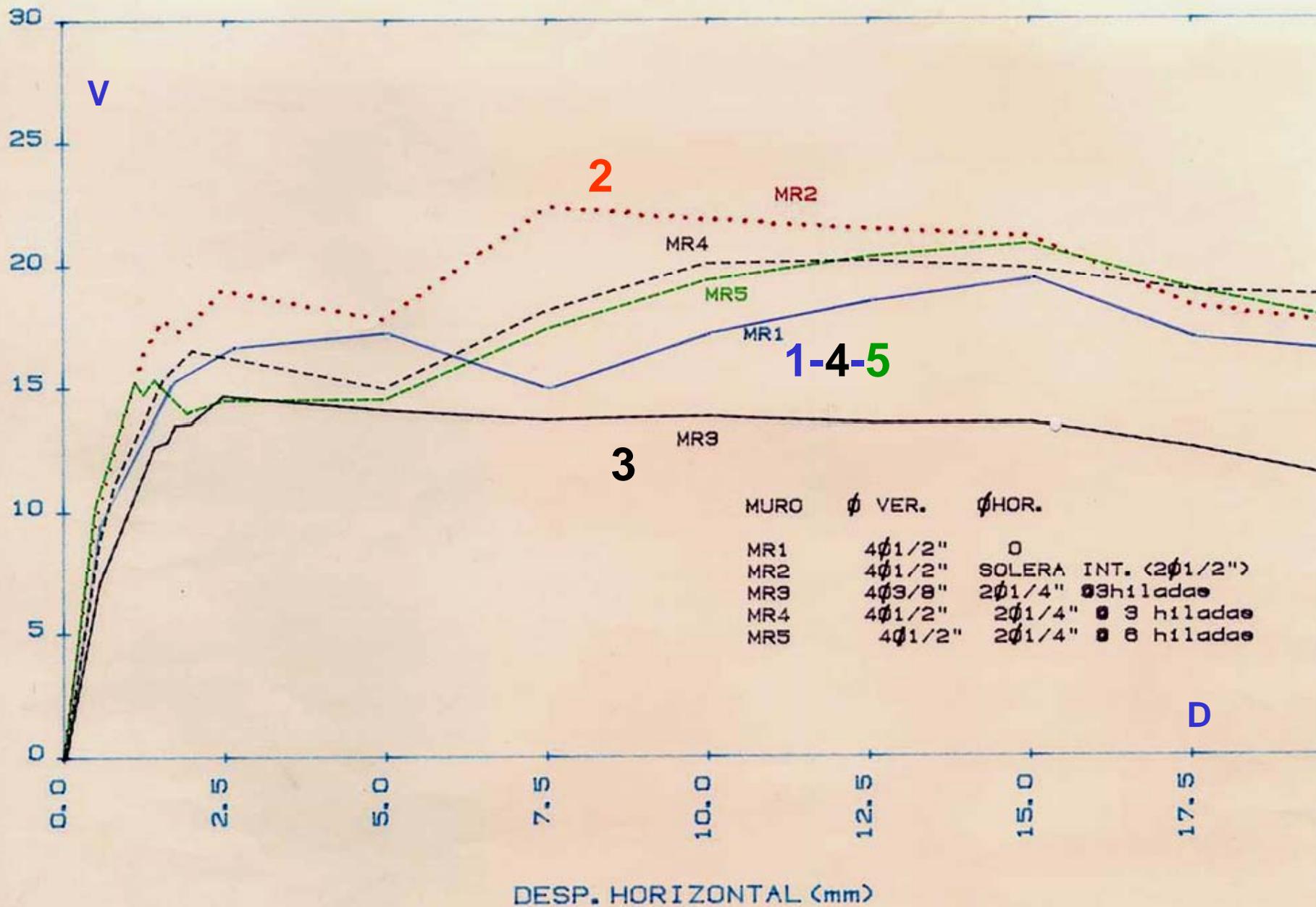
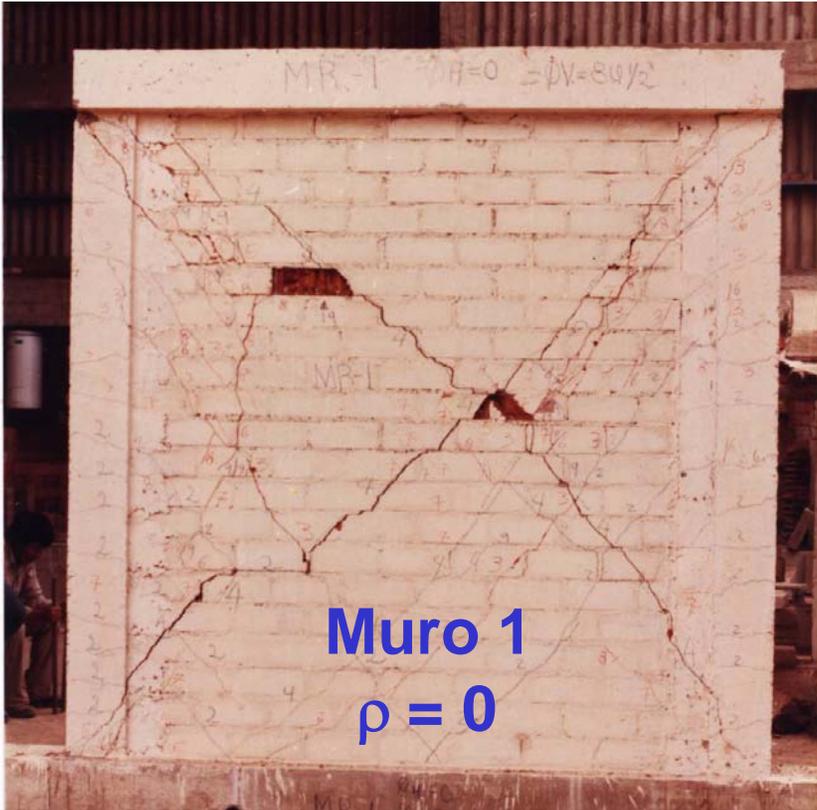
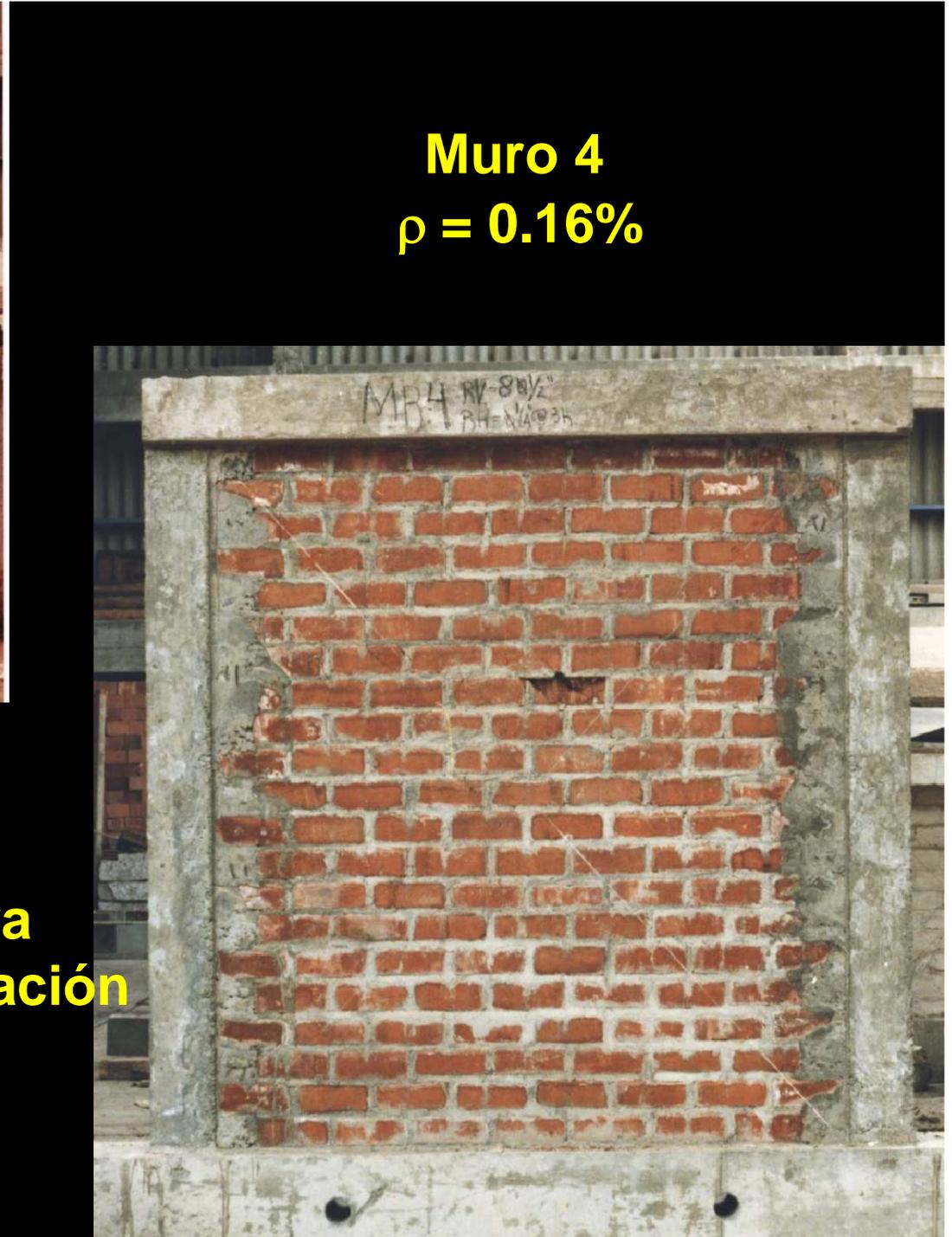


FIG. 6-ENVOLVENTE DE LOS CICLOS ESTABLES

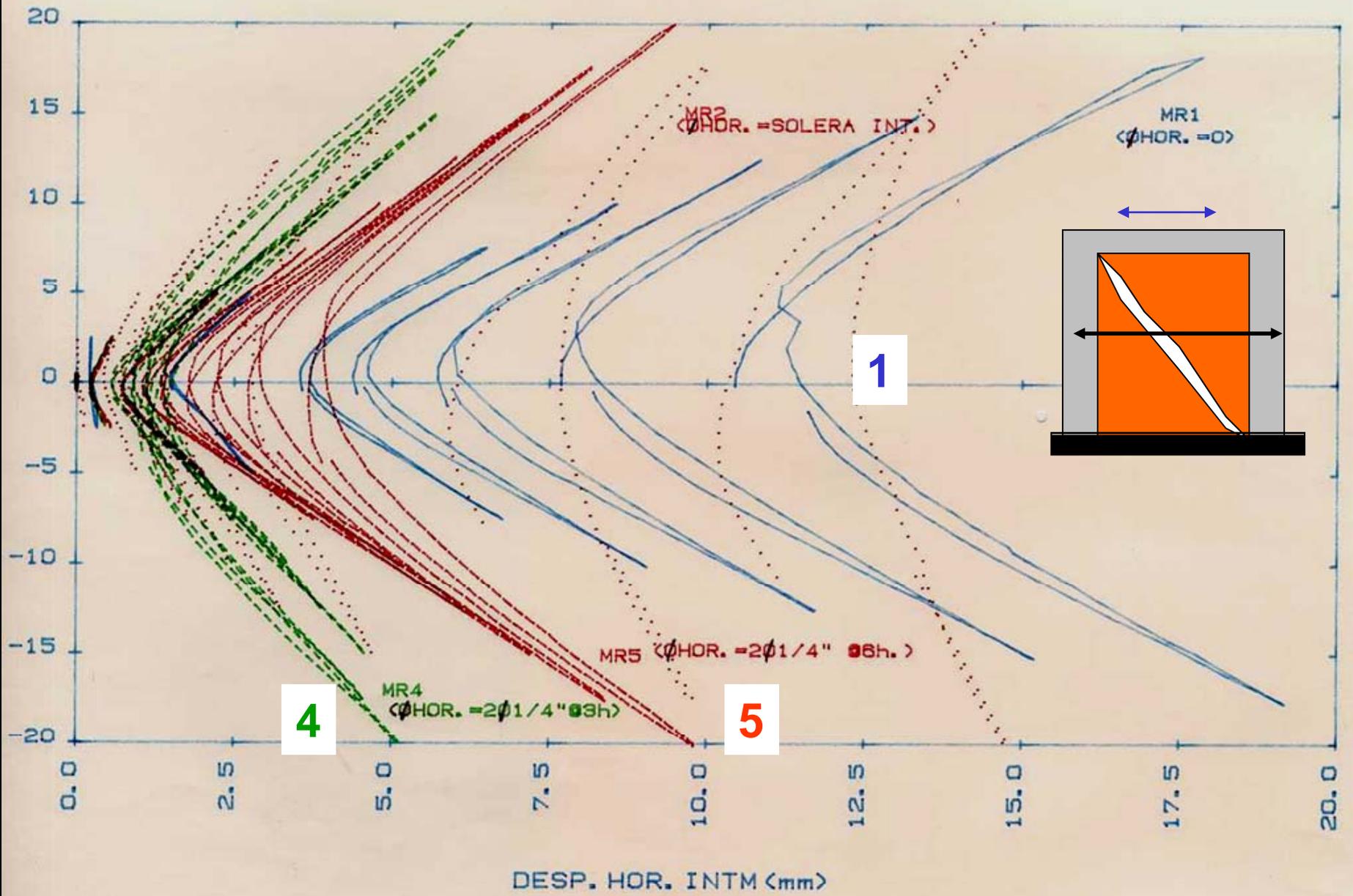


**Muro 1**  
 $\rho = 0$



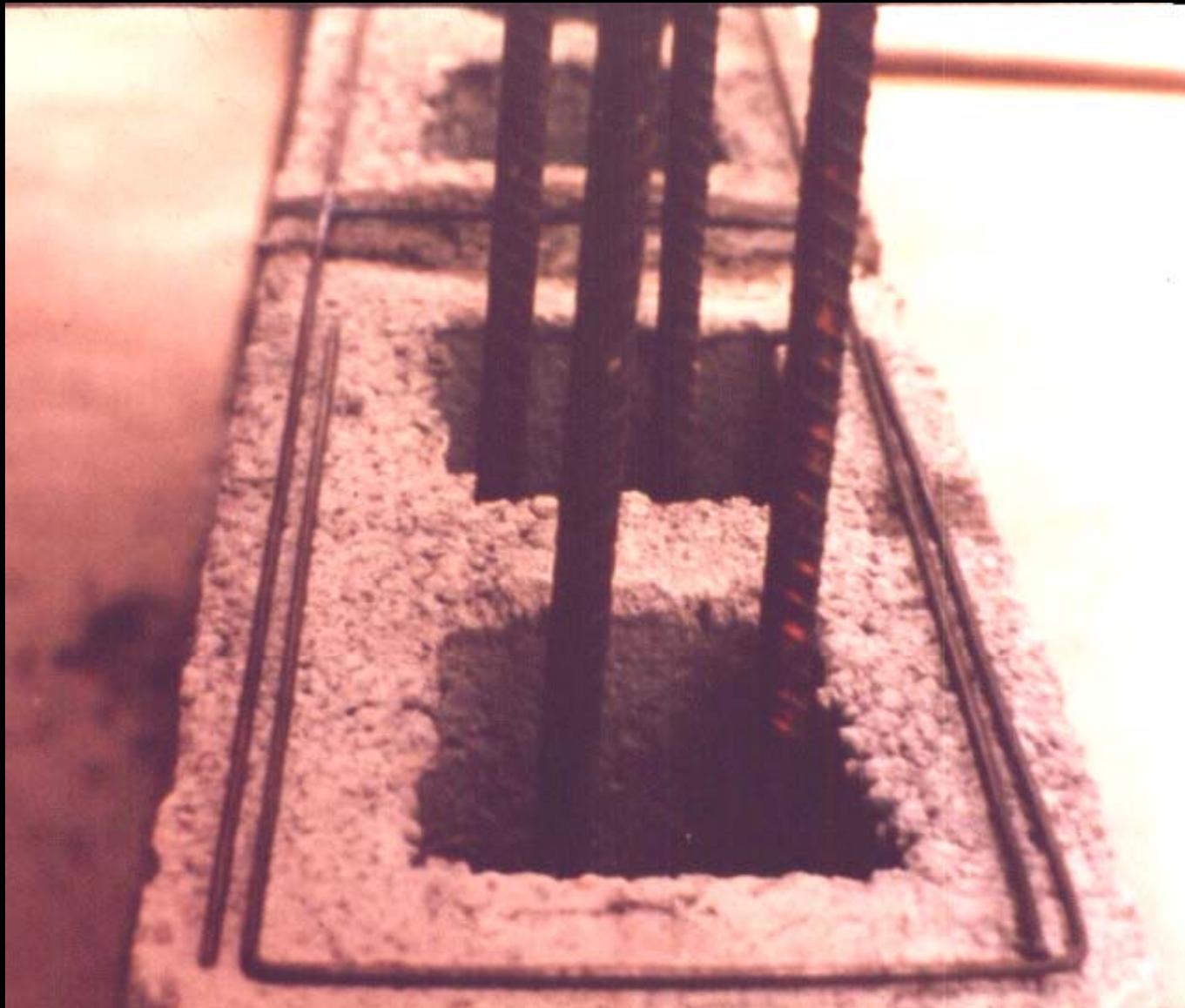
**Muro 4**  
 $\rho = 0.16\%$

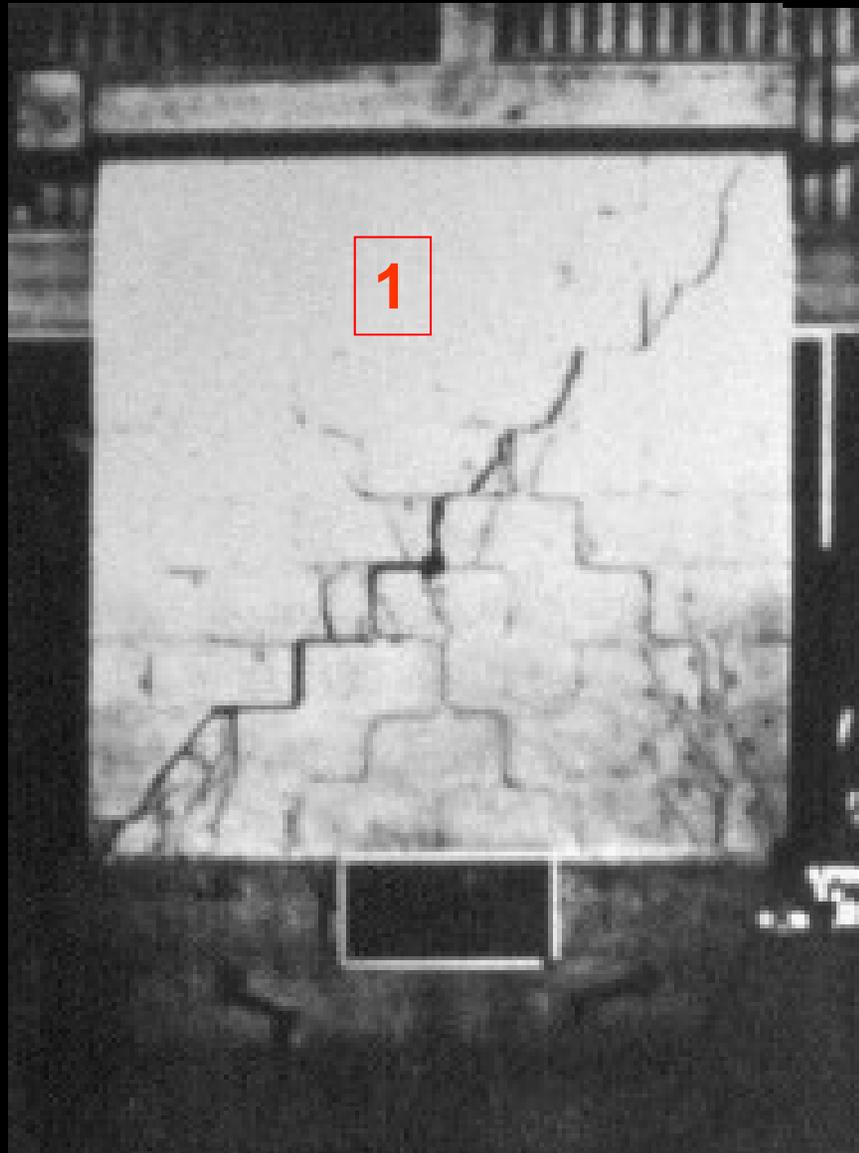
**El uso de ref. hor. mejora la capacidad de deformación inelástica (ductilidad), atenuando el deterioro.**



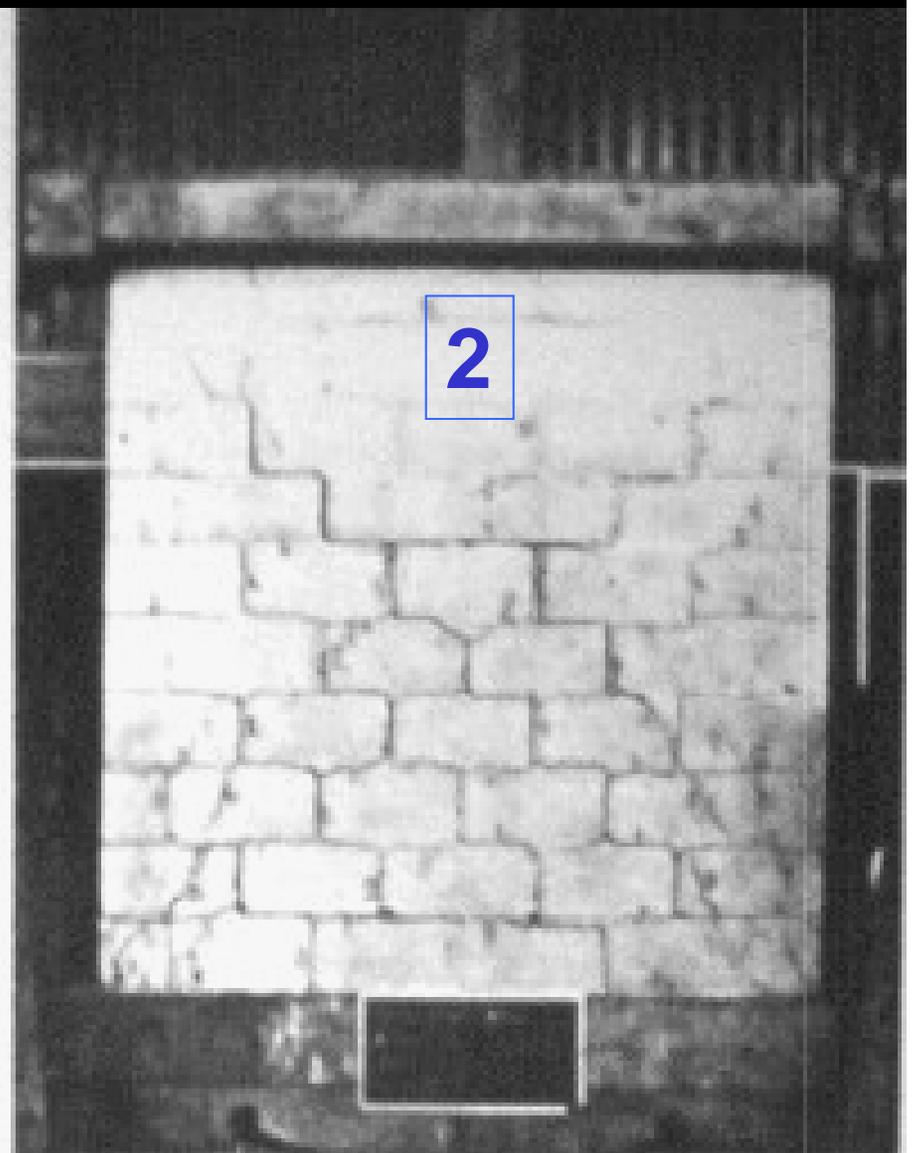
DESP. HOR. INTERMEDIO vs DESP. HORIZONTAL  
 FIG. 8

# EFFECTOS DEL REFUERZO HORIZONTAL EN MUROS ARMADOS



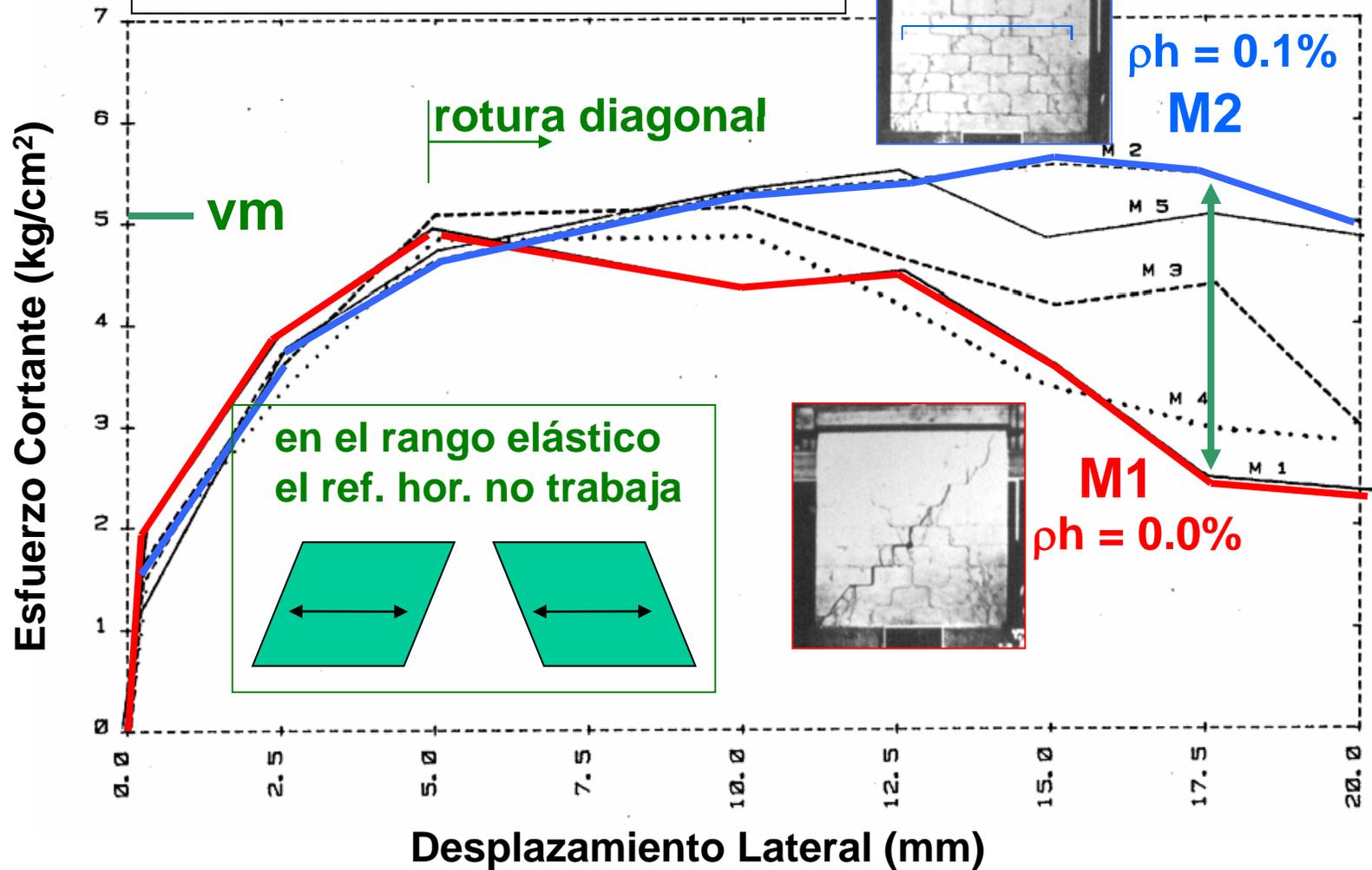


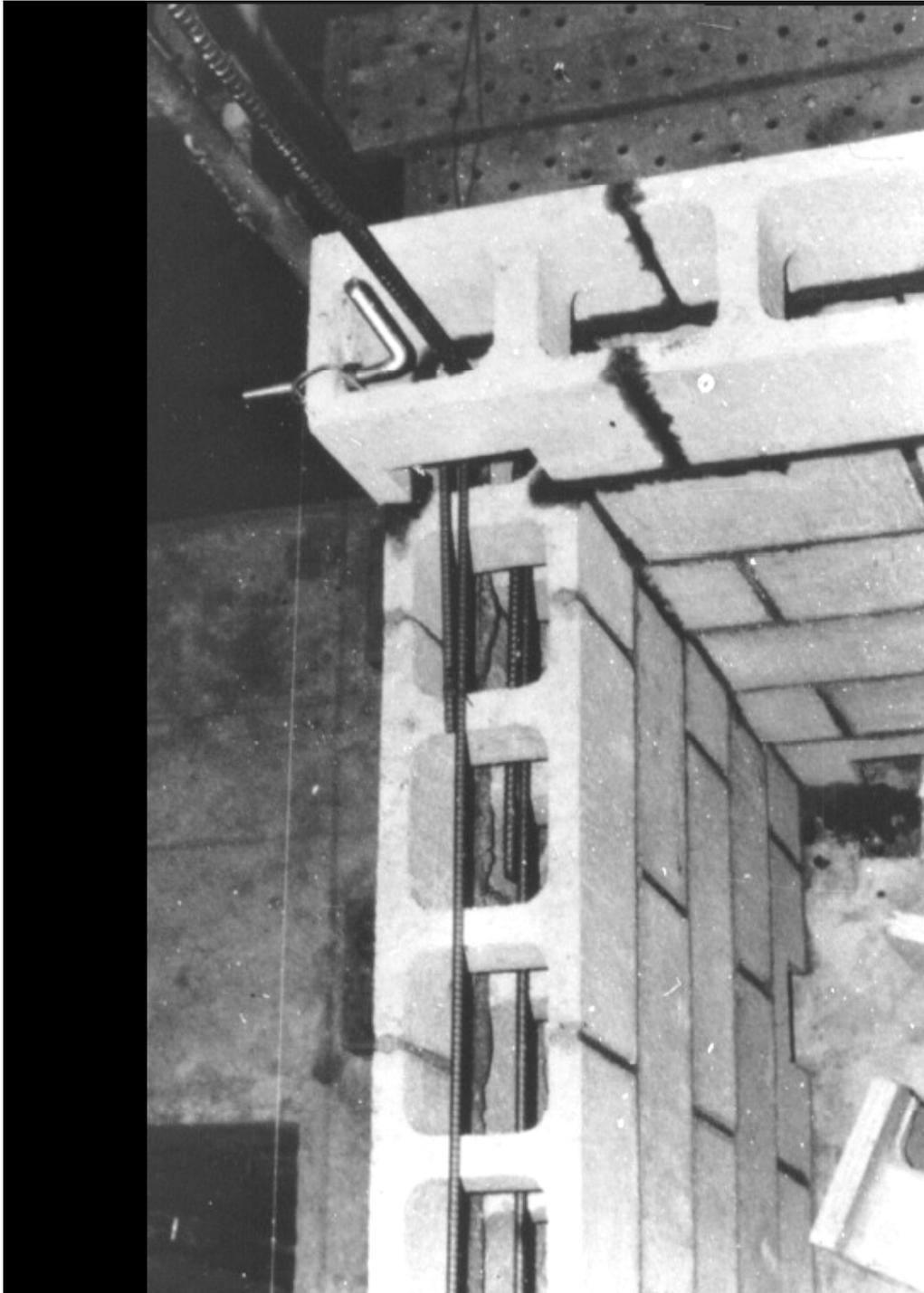
$\rho = 0\%$



$\rho = 0.1\%$

# EFFECTOS DEL REF. HORIZONTAL EN ALBAÑILERÍA ARMADA





**Para que el refuerzo horizontal aporte resistencia es necesario que:**

- 1.- Sea corrugado**
- 2.-  $\rho > 0.25\%$**

**De otro modo, el ref. horizontal sólo aportará ductilidad**

# **Técnicas Sencillas y Económicas en la Reparación de los Muros Confinados**

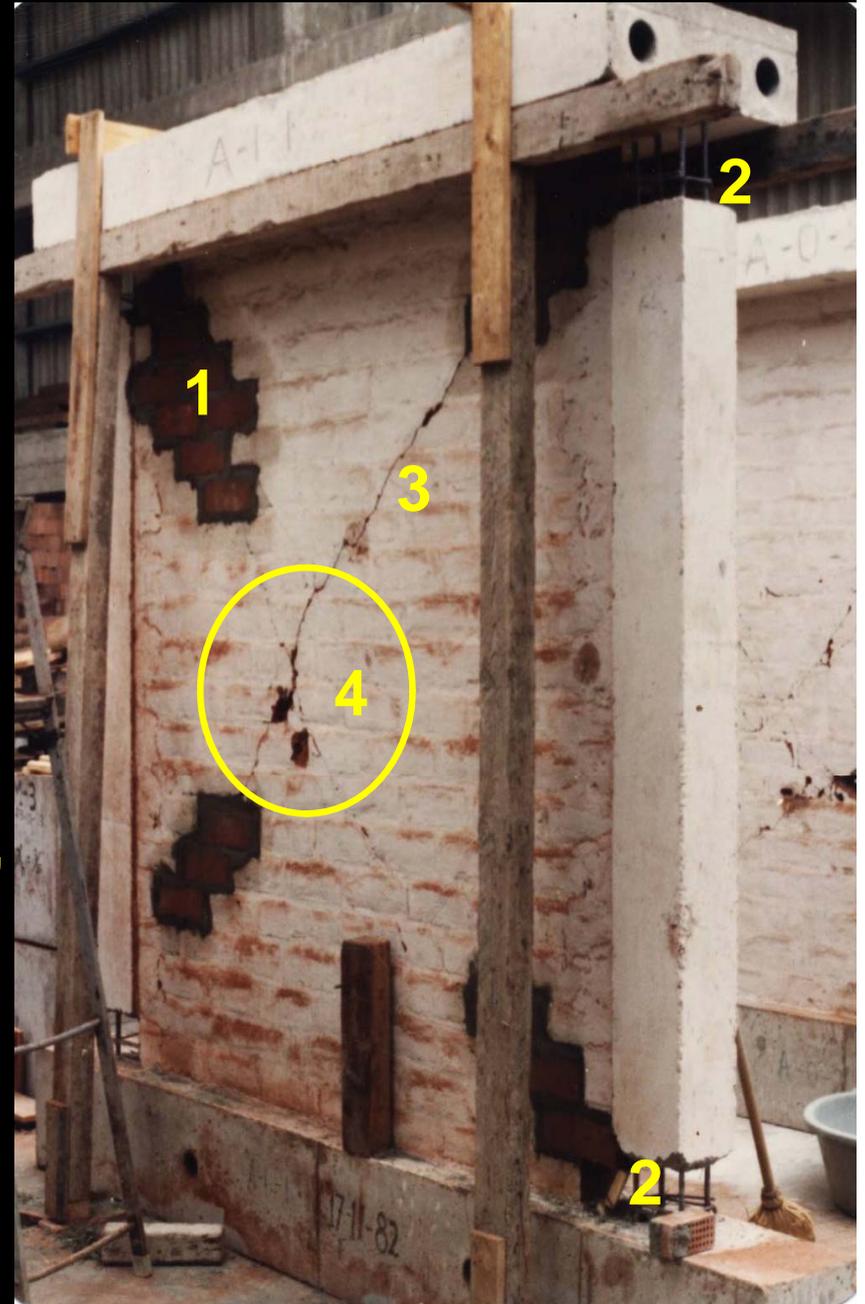
**Cuatro muros confinados que fueron ensayados a carga lateral cíclica, hasta alcanzar derivas de 0.01 mayores al límite de reparación permitida por la Norma E.070 (0.005), fallaron por corte, y luego se repararon y reforzaron aplicando 4 técnicas distintas, apuntalándolos previamente.**

**Muro Original  
hecho con  
ladrillos KK  
artesanal  
antes de la  
reparación y  
reforzamiento**

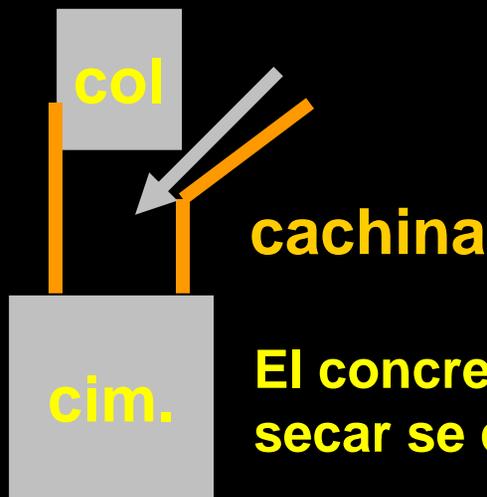


# Técnica 1. Tradicional:

- 1) Reemplazo de ladrillos por otros de mayor calidad, adheridos a la albañilería existente con mortero 1:1:4.
- 2) Reparación de los extremos de las columnas, usando epóxico para unir el concreto nuevo con el existente.
- 3) Resane de grietas importantes, profundizándolas, para luego limpiarlas, humedecerlas y taponarlas con mortero 1:1:4.
- 4) La zona central triturada se rellenó con concreto simple.



En el paso 2, es conveniente emplear un encofrado en forma de embudo (cachina), para que rebalse el concreto nuevo y de esta forma, al secar, no se separe del concreto existente.

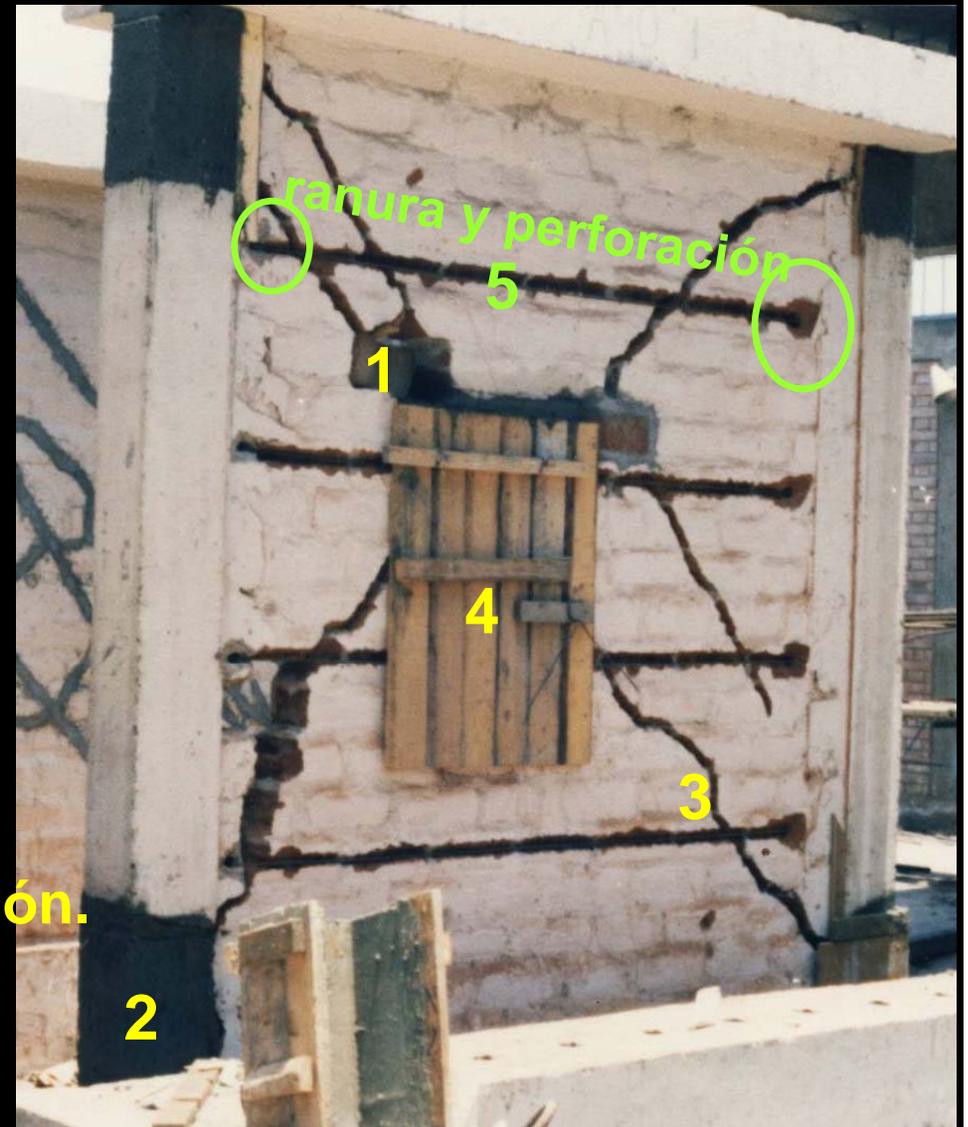


El concreto nuevo debe rebalsar, ya que al secar se contrae y se separa del existente.

## Técnica 2. Tradicional + Refuerzo Horizontal:

A los 4 pasos de la técnica Tradicional, se agregó un quinto paso, consistente en:

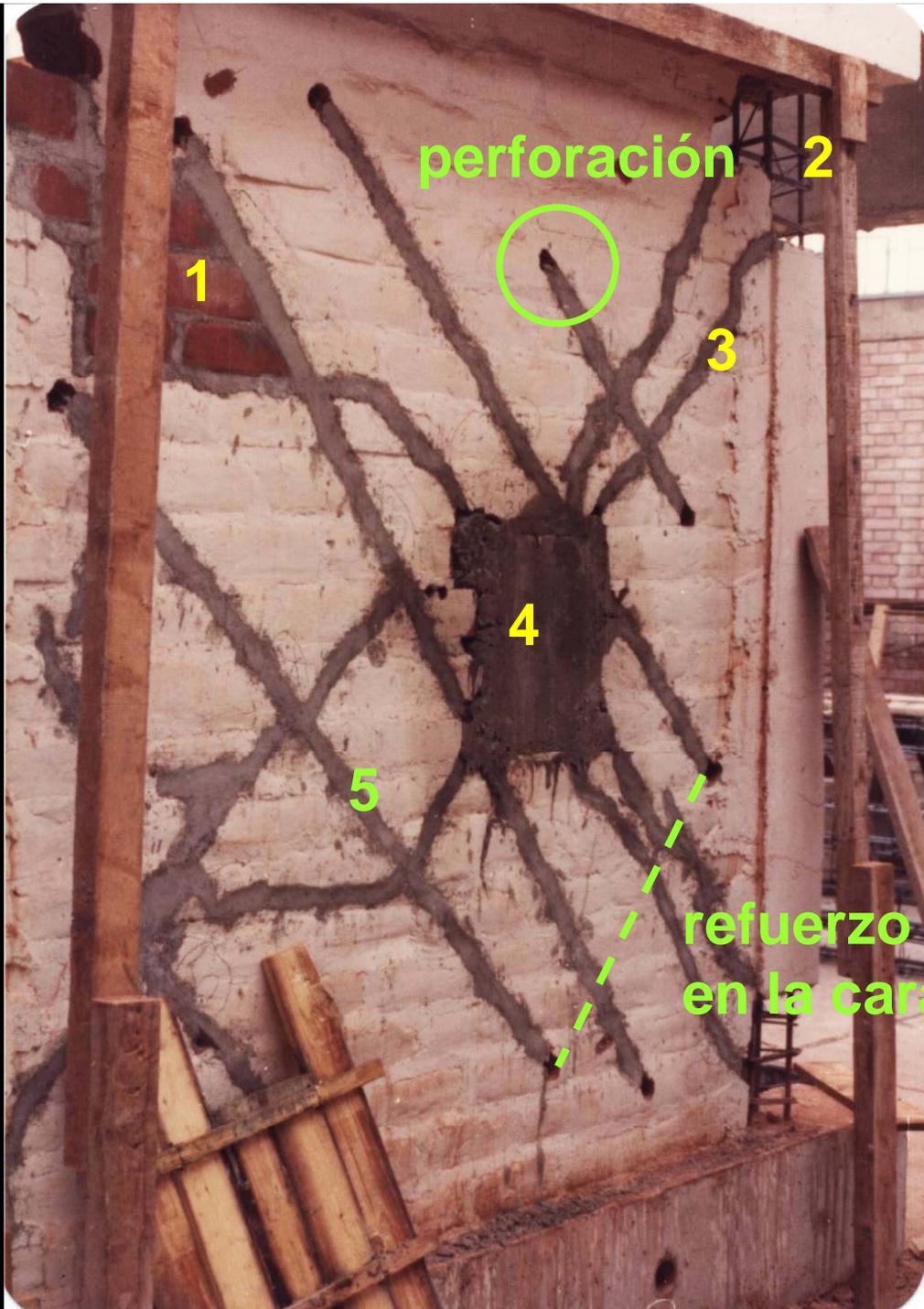
- Abrir ranuras en las 2 caras del muro, cada 4 hiladas, de 1" de profundidad.
- Perforar los extremos de las ranuras. Luego limpiar, humedecer y colocar 1  $\phi$  1/4", anclándolo a 90° en la perforación.
- Taponar perforaciones y ranuras con mortero 1:4.



### Técnica 3. Tradicional + Refuerzo Diagonal:

Esta técnica es similar a la anterior, pero el refuerzo de  $\frac{1}{4}$ " se colocó diagonalmente en las 2 caras de la albañilería, anclándolo en la perforación.

refuerzo diagonal ortogonal en la cara opuesta.



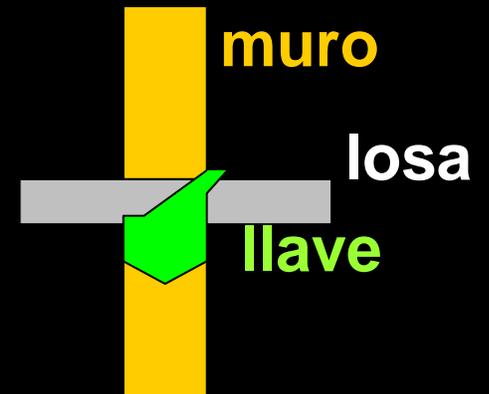
## Técnica 4. Reemplazo total de la albañilería:

En el cuarto muro se eliminó la albañilería reemplazándola por otra de mejor calidad. Sólo se aprovechó a los confinamientos, reparando los extremos de las columnas. El problema radicó en integrar la nueva albañilería con el concreto existente:

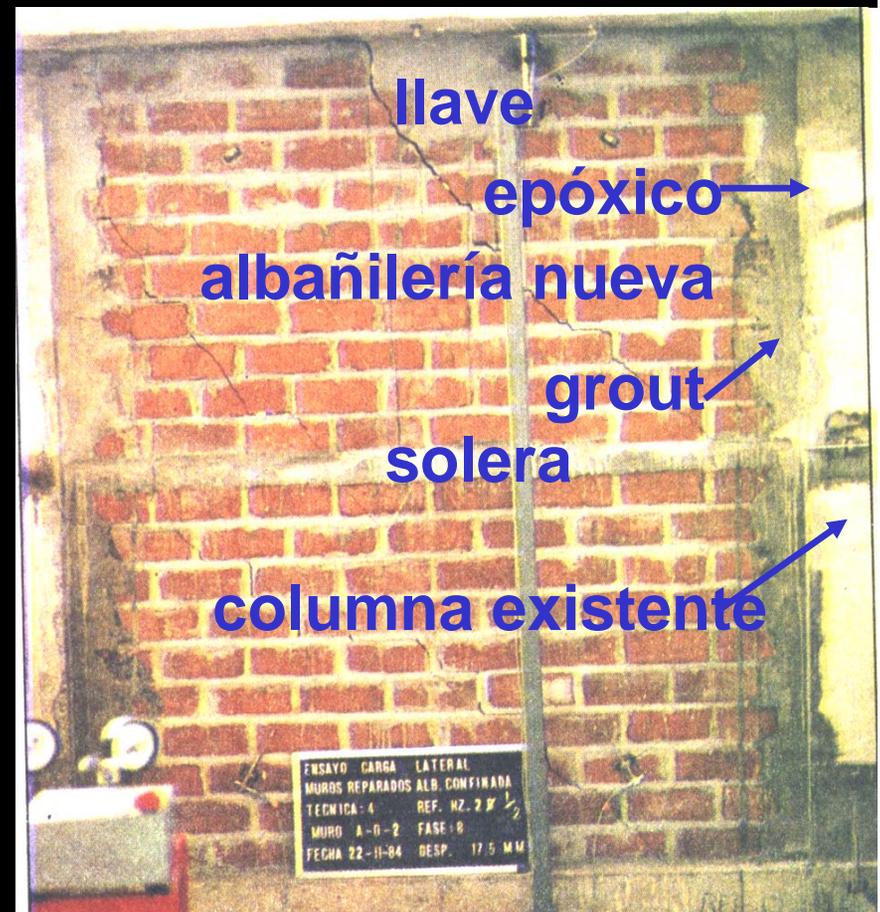
- 1) Se dejó un espacio de 7cm entre la nueva albañilería (dentada) y las columnas.
- 2) Se picó la parte central de las columnas, para que allí ancle 2  $\phi$  1/2" horizontales de una solera intermedia de 7cm de peralte.
- 3) En la parte superior intermedia de la nueva albañilería, se dejó un espacio en las 3 últimas hiladas.



4. Se perforó verticalmente a la solera superior, para vaciar por allí grout, formando una llave de corte con la nueva albañilería. De existir un muro encima, la perforación puede hacerse por un costado del muro. El área de las llaves + las columnas, debe ser suficiente para absorber por corte-fricción al cortante de agrietamiento.



5. Se aplicó resina epóxica en el lado interno de las columnas, y se vació grout en el espacio existente entre la nueva albañilería y las columnas, para así integrar ambos materiales.



# REENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA EN MUROS REPARADOS

## Técnica 1. Tradicional:

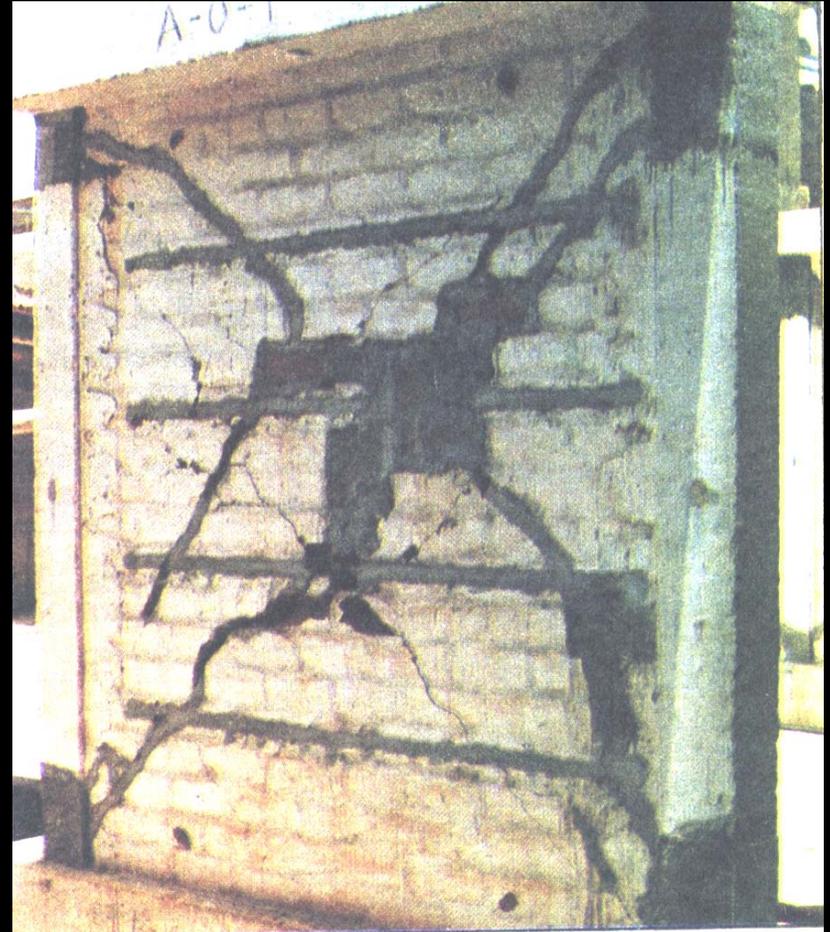
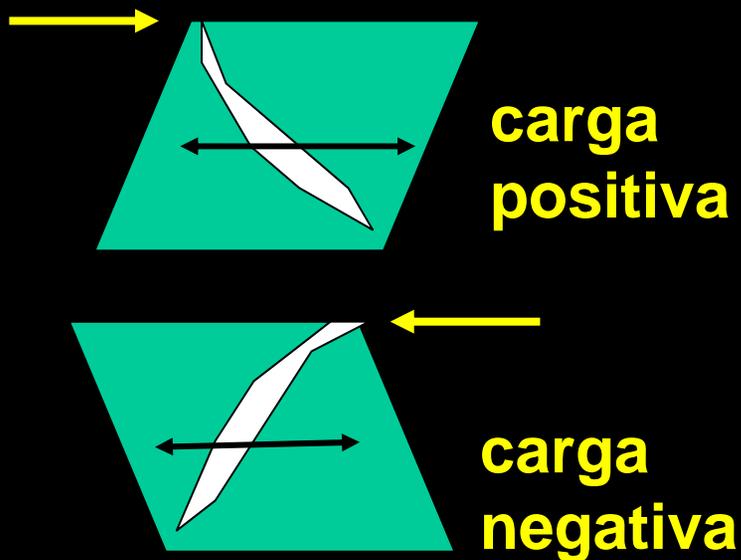
No sirvió. La unión entre la albañilería nueva y la existente fue muy débil.

Debería investigarse el uso de morteros con aditivos (Vinnapas + Culminal) o mortero epóxico que permita mejorar la adherencia entre la nueva albañilería y la existente.



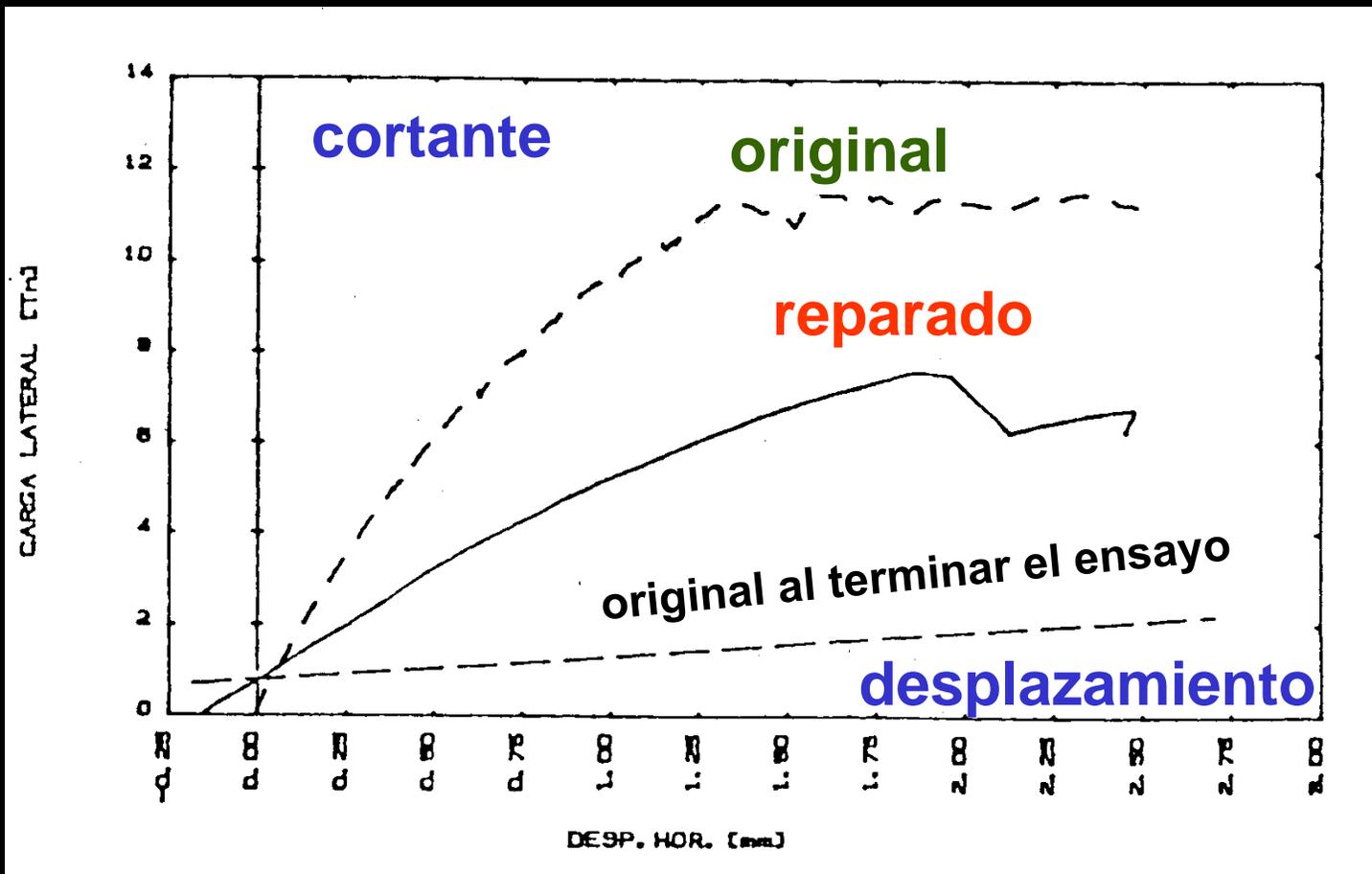
## Técnica 2. Tradicional + Refuerzo Horizontal:

Este refuerzo siempre trabaja a tracción directa, pero lo hace después de haberse formado la grieta diagonal:



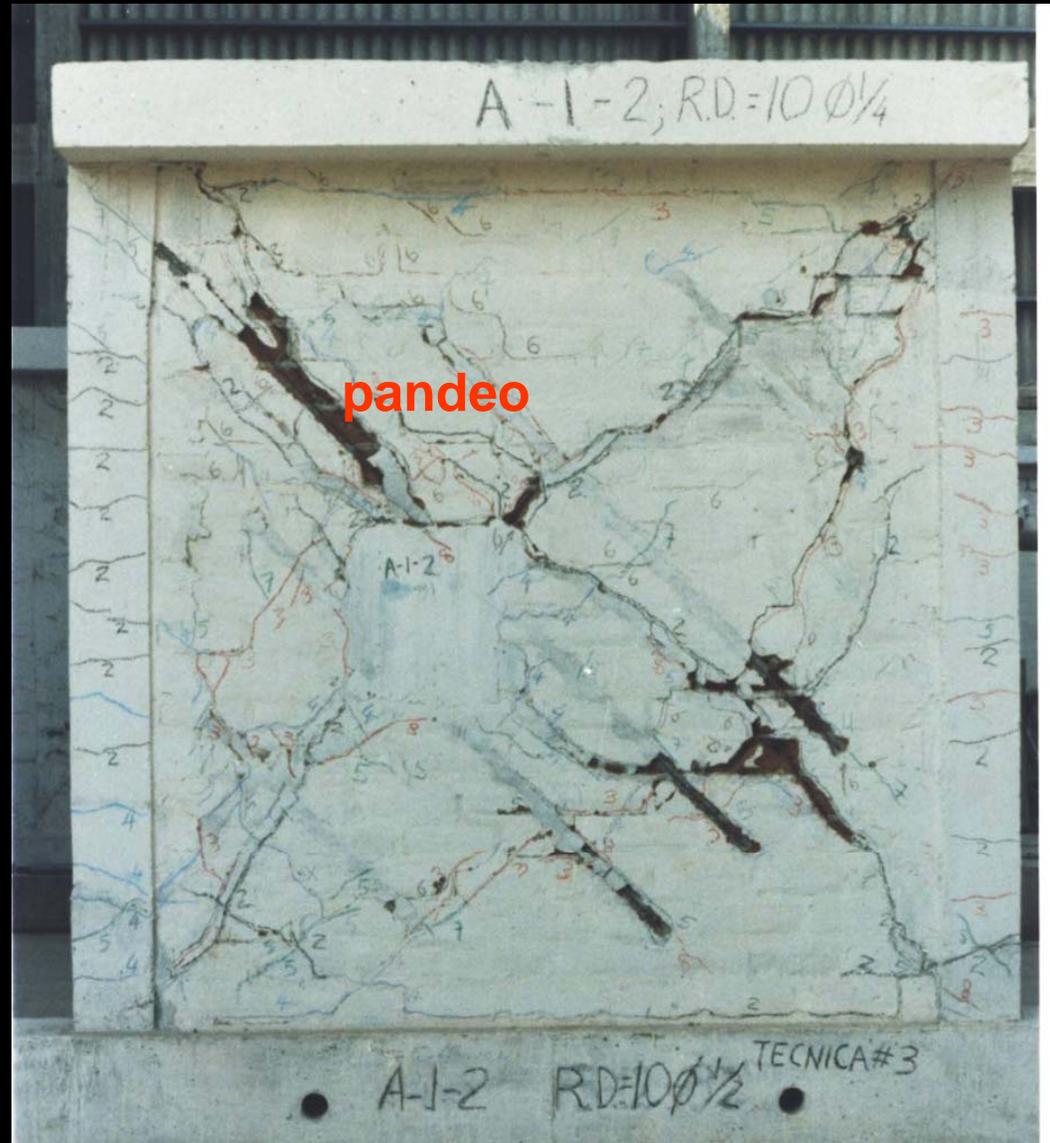
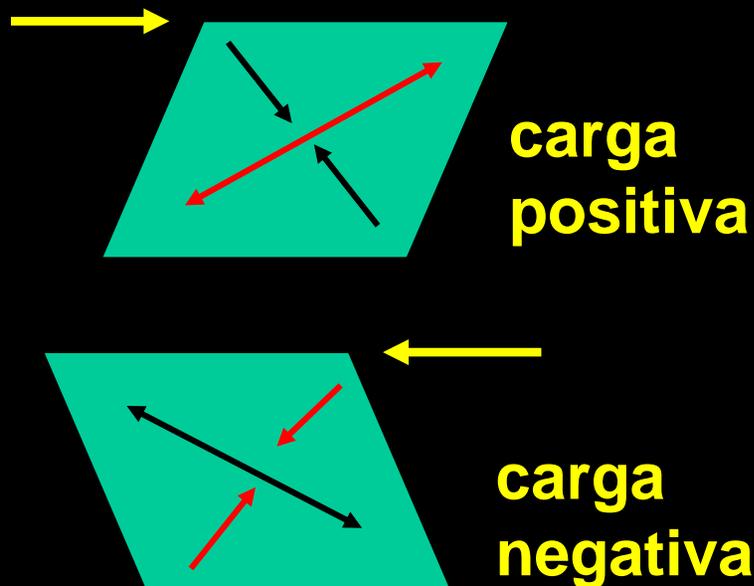
La resistencia máxima superó en 37% a la del muro original, pero esta resistencia se alcanzó recién para grandes desplazamientos.

En la técnica 2 el muro reparado tuvo buen comportamiento, pero la rigidez inicial y la carga de agrietamiento diagonal fueron el 50% de los valores originales. En consecuencia, esta técnica debe ser acompañada por el uso de placas de concreto armado, que permitan restaurar o elevar la resistencia y rigidez original.



# Técnica 3. Tradicional + Refuerzo Diagonal:

No sirvió. Este refuerzo trabaja a tracción o a compresión. Cuando trabajó a compresión, el refuerzo pandeó y expulsó al recubrimiento.



## Técnica 4. Reemplazo total de la albañilería:



**En este muro se logró recuperar el 100% de la resistencia y la rigidez original.**

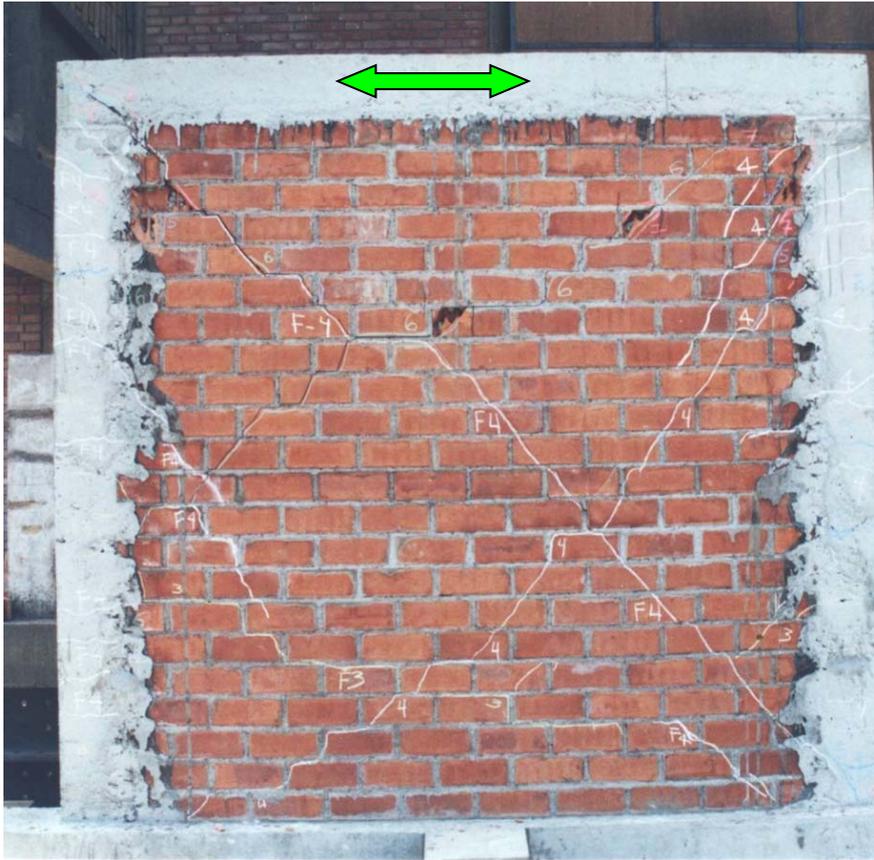
**La llave de corte desvió diagonalmente una fisura horizontal presentada entre la solera existente y la nueva albañilería.**

**La unión grout-columna-nueva albañilería trabajó perfectamente.**

# REPARACIÓN DE UN MURO CONFINADO EMPLEANDO MALLA ELECTROSOLDADA DE ¼" CON COCADA 15 cm

encamisado en cols.





**Estado del muro original después del ensayo de carga lateral cíclica con distorsión 0.005**

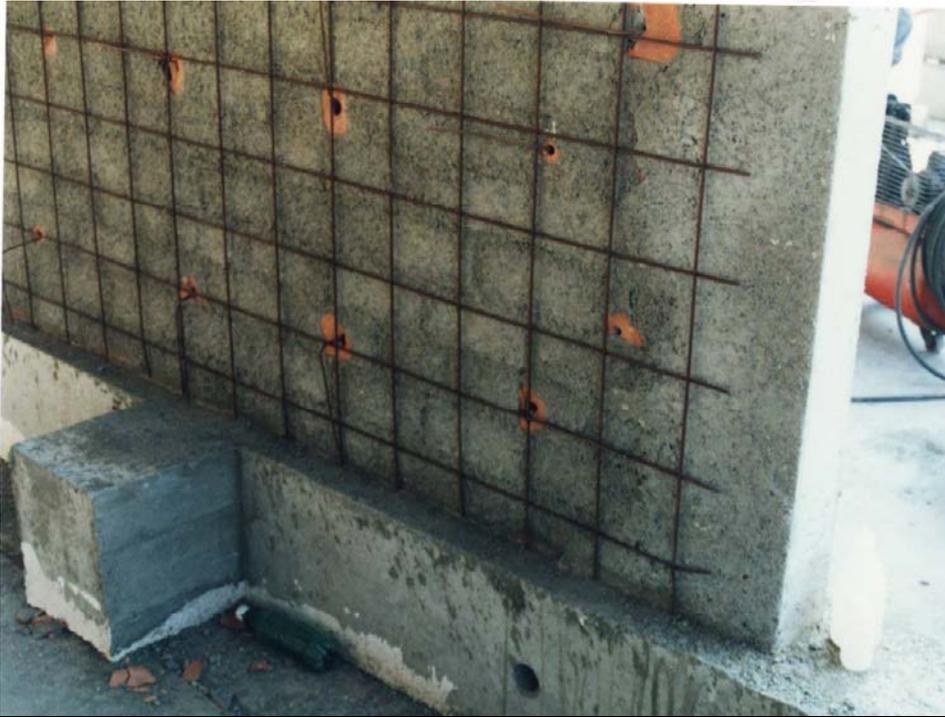




**1) Picado y relleno con concreto y mortero 1:3 sólo en fisuras principales**



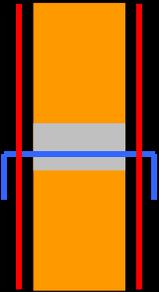
**2) Pañeteo con mortero 1:4 (arena gruesa)**



**3) Perforaciones con cincel @ 45 cm**



**4) Instalación de la malla amarrándola a los conectores (alambre #8). La malla no se conectó con la columna ni a la cimentación.**



**Con la malla sólo se pretendía mejorar la resistencia al corte. Si se hubiese deseado mejorar la conexión con la columna, además de confinarla, pudo agregarse malla en forma de “U”**



**Si se hubiese pretendido elevar la resistencia a flexión, pudo haberse soldado el refuerzo vertical de la malla a pernos expansivos clavados en la cimentación.**



inyector



**5) Taponado de las perforaciones con lechada de cemento 1:3 (arena fina)**

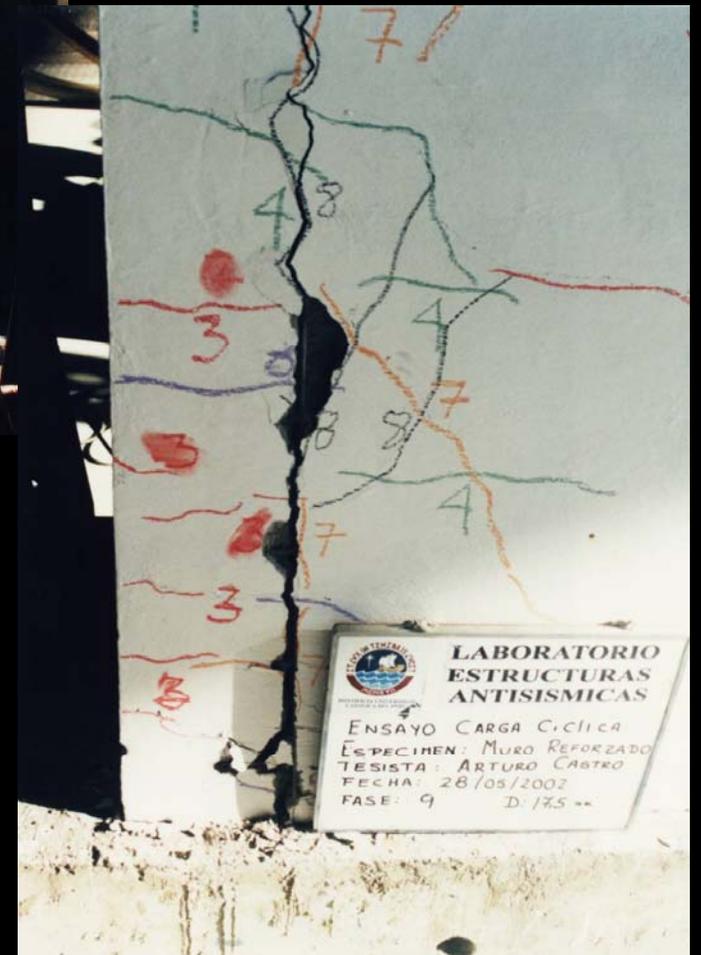
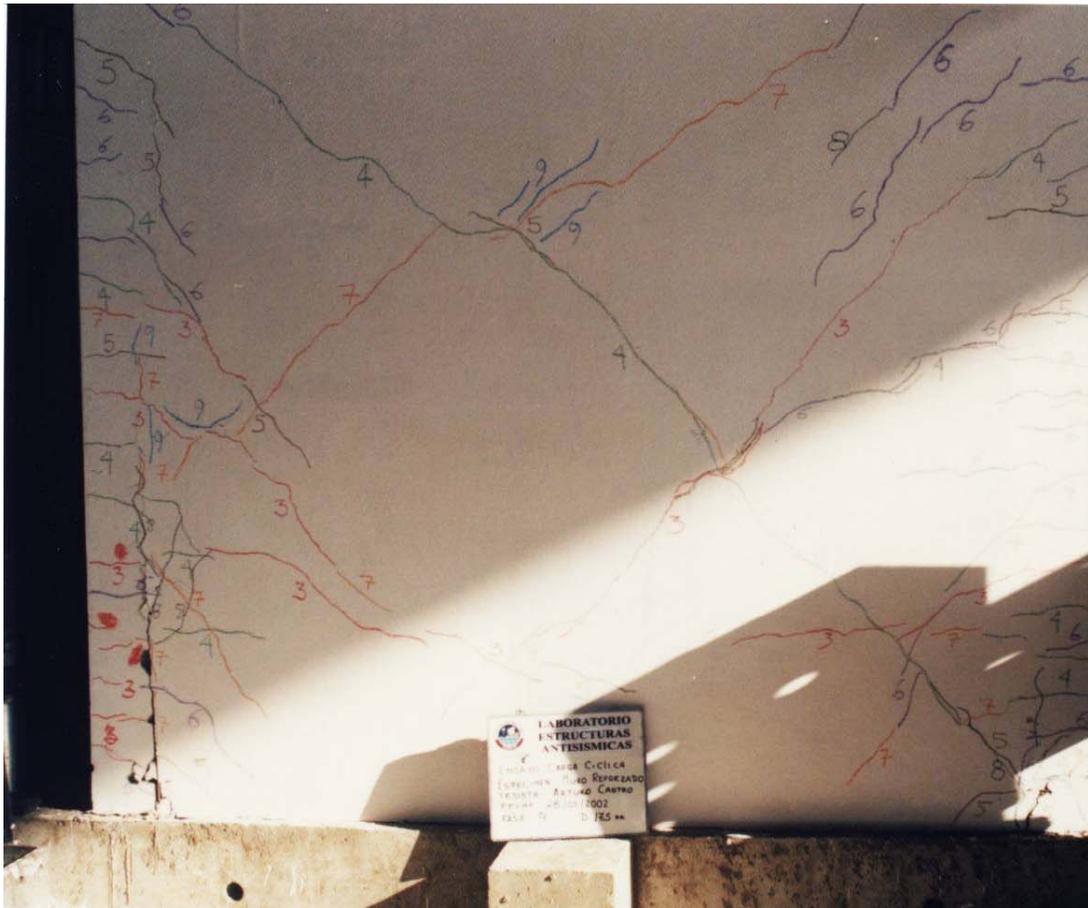




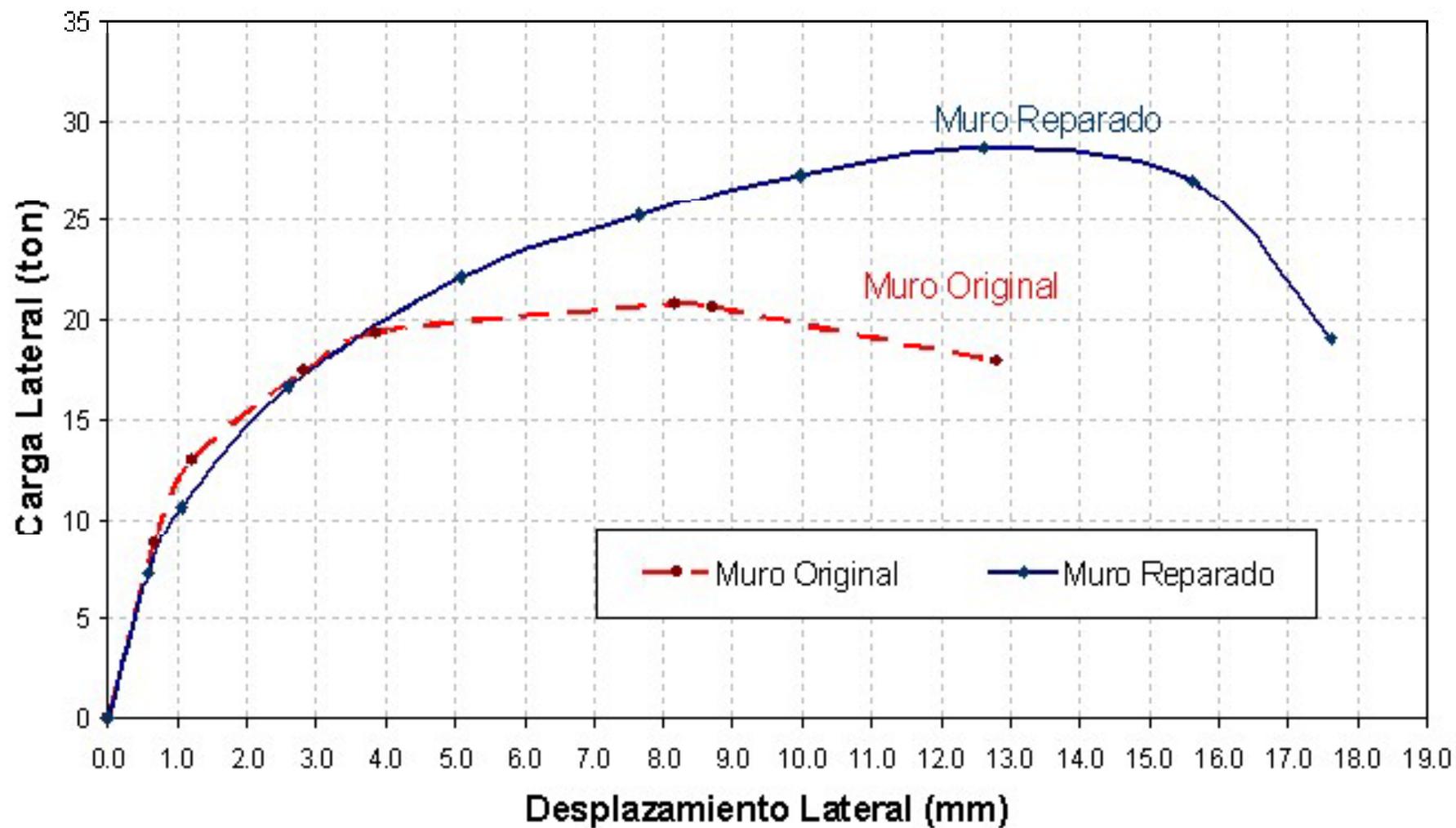
**6) Tarrajeo del muro  
con mortero 1:4  
(arena fina)**



## Muro Confinado Reparado con Malla Electrosoldada después del reensayo



Las fisuras diagonales fueron finas, la falla principal se concentró en la unión muro-columna, pero esta falla se presentó para grandes desplazamiento laterales.



**Incremento de resistencia: 40%**

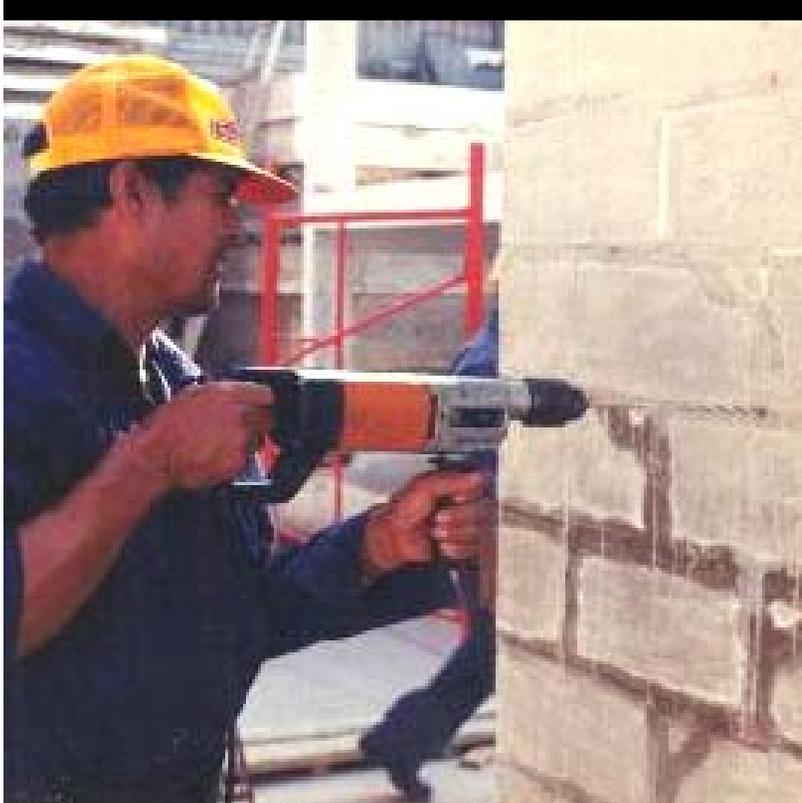
**Reparación de  
un Muro  
de Albañilería  
Armada empleando  
Malla Electrosoldada**



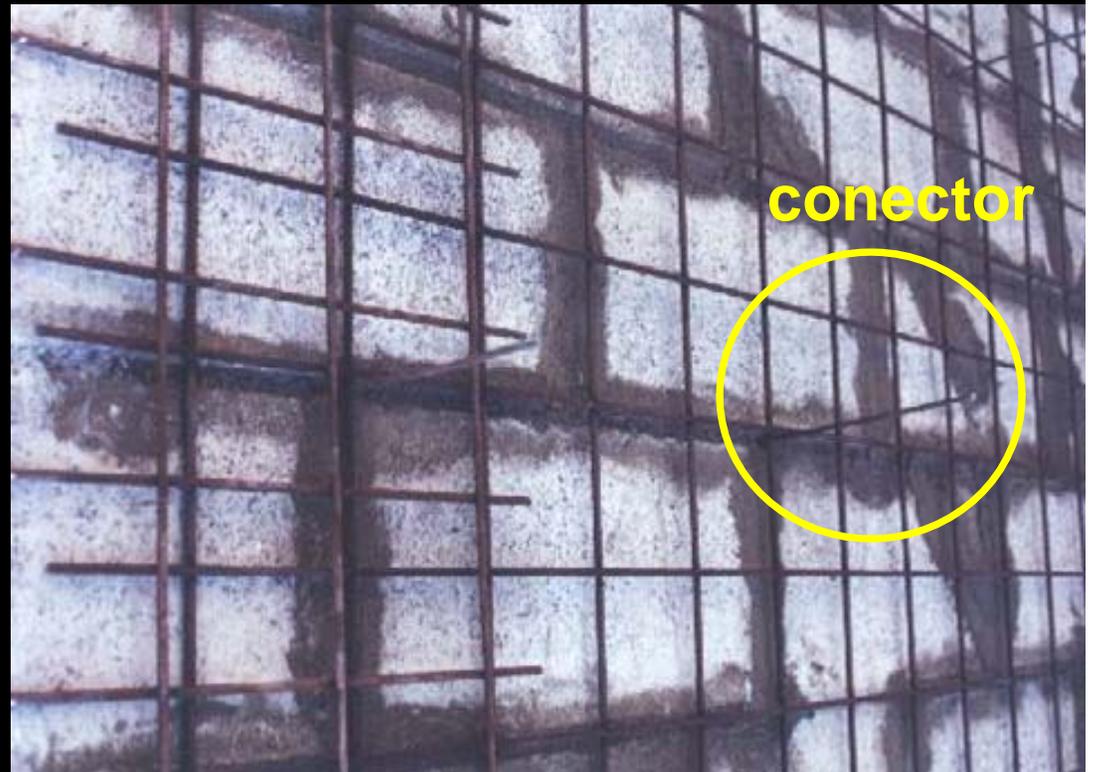


**Ranurado y taponado  
de las grietas principales**





**Perforación con taladro en las uniones entre juntas horizontales y verticales, donde no hay refuerzo ni Grout.**





**Taponado de perforaciones  
con lechada 1:3**

**Malla en U para  
confinar los  
extremos. El tipo  
de falla iba a cambiar  
de corte a flexo-  
compresión.**

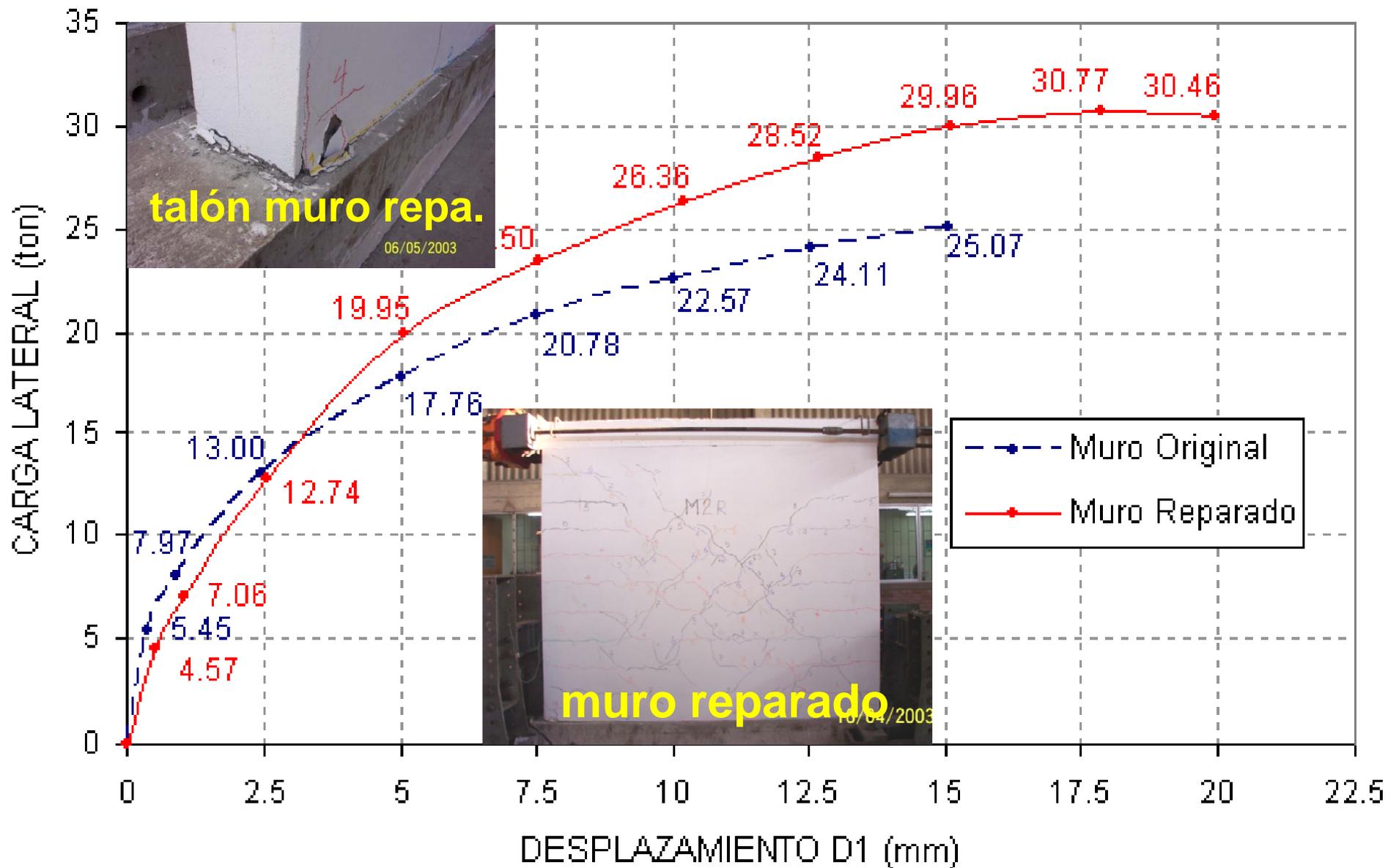




**pañeteo**



**tarrajeo**





# Reforzamiento de Tabiques Existentes Empleando Varillas de Fibra de Vidrio

Proyecto UMR  
(Universidad de Missouri)

- Requieren poco recubrimiento.
- Su peso es reducido.
- Son de alta resistencia.
- Carecen de ductilidad.



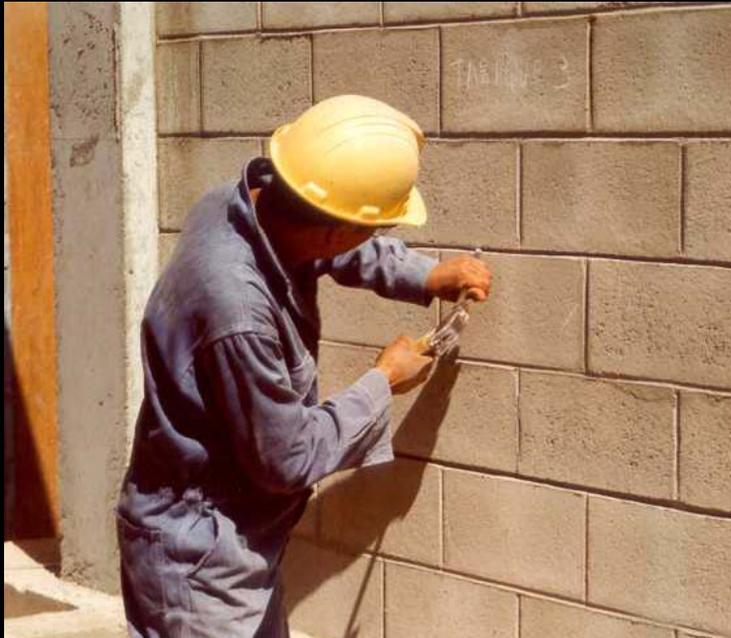
$$\sigma = 8000 \text{ kg/cm}^2$$



## Tabique hecho con Bloques de Concreto

**Relleno de la celda  
extrema con grout  
(en contacto con  
columnas)**





**Ranurado de las juntas horizontales con amoladora y afinamiento con cincel**



**Perforación de las columnas con broca de 3/8" y limpieza con aire comprimido**





**Masking Tape  
(cinta  
adhesiva)  
en los bordes  
de  
las ranuras**

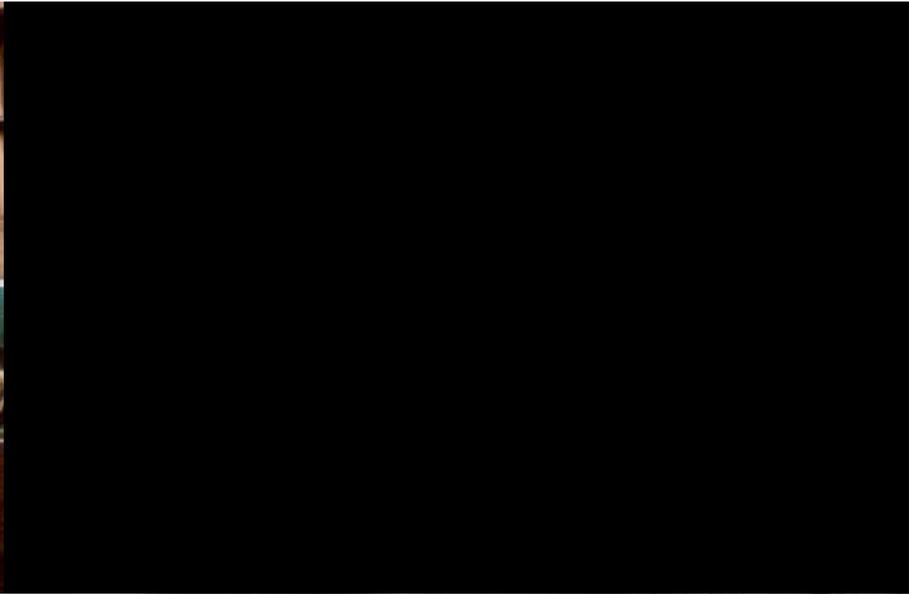


**Primera capa  
de epóxico**

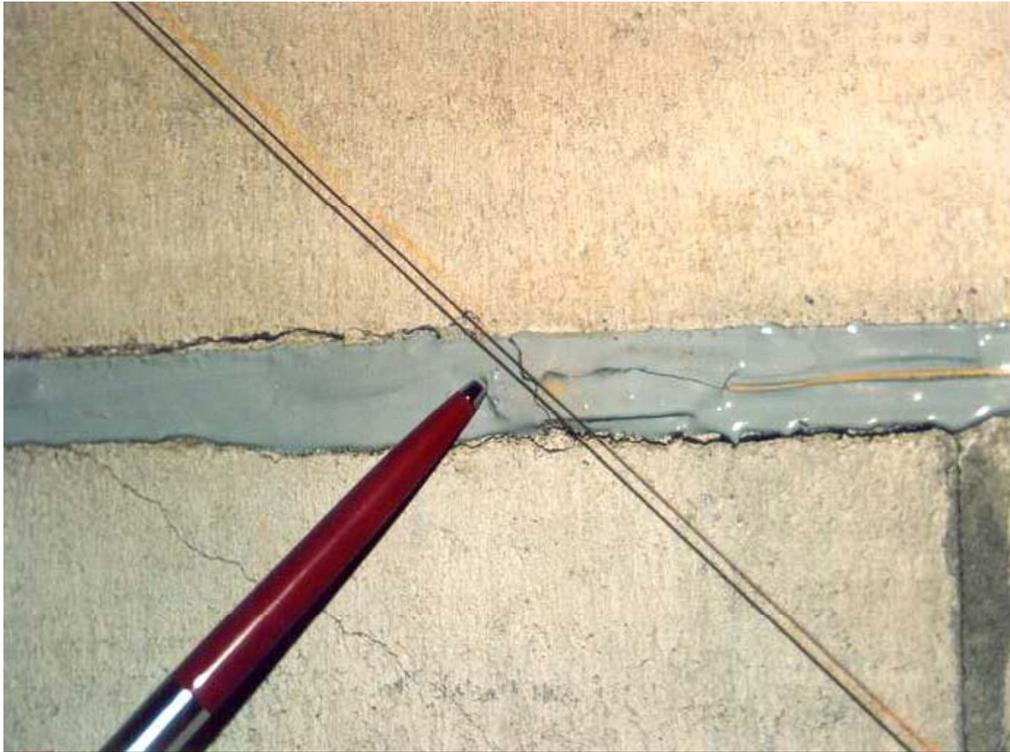


- Instalación de la varilla 1/4"
- Segunda capa de epóxico
- Enrase con espátula
- Retiro del masking tape





**deriva  
máxima = 0.7%**



**Deslaminación del bloque**

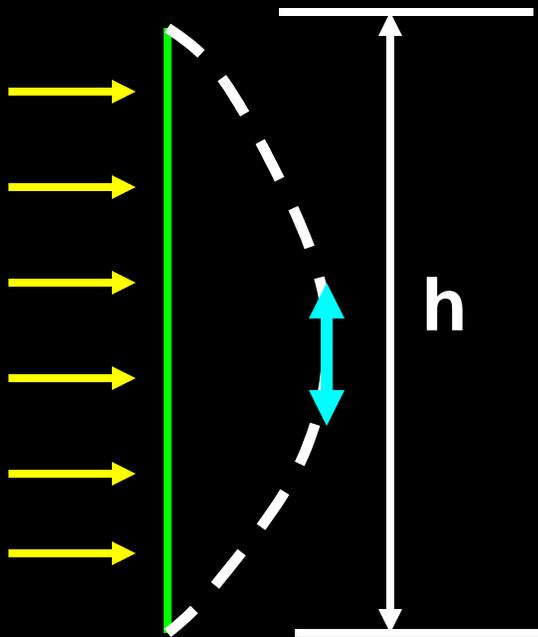


**Falla en las conexiones  
con las columnas**

# Reforzamiento de un Tabique Aislado



**En este caso, no se requiere refuerzo por corte ya que el tabique está independizado de la estructura principal para acciones coplanares, pero se necesita estabilizarlo ante acciones perpendiculares al plano, además de tener que soportar los esfuerzos de tracción por flexión que producen esas acciones.**





**Para soportar la flexión se introdujo refuerzo vertical**

- **Ventanas en última hilada**
- **Refuerzo vertical 3/8"**
- **Relleno con grout**

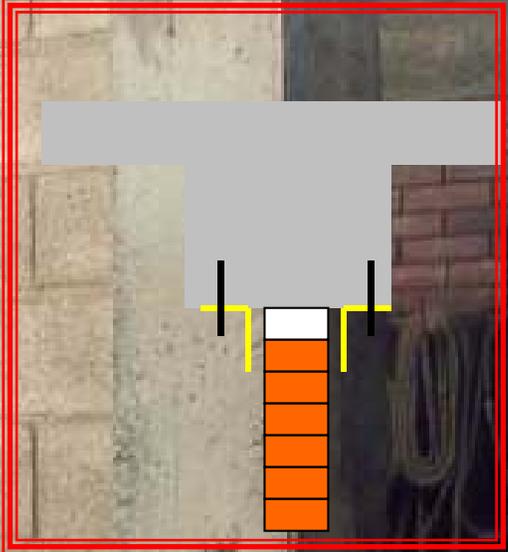
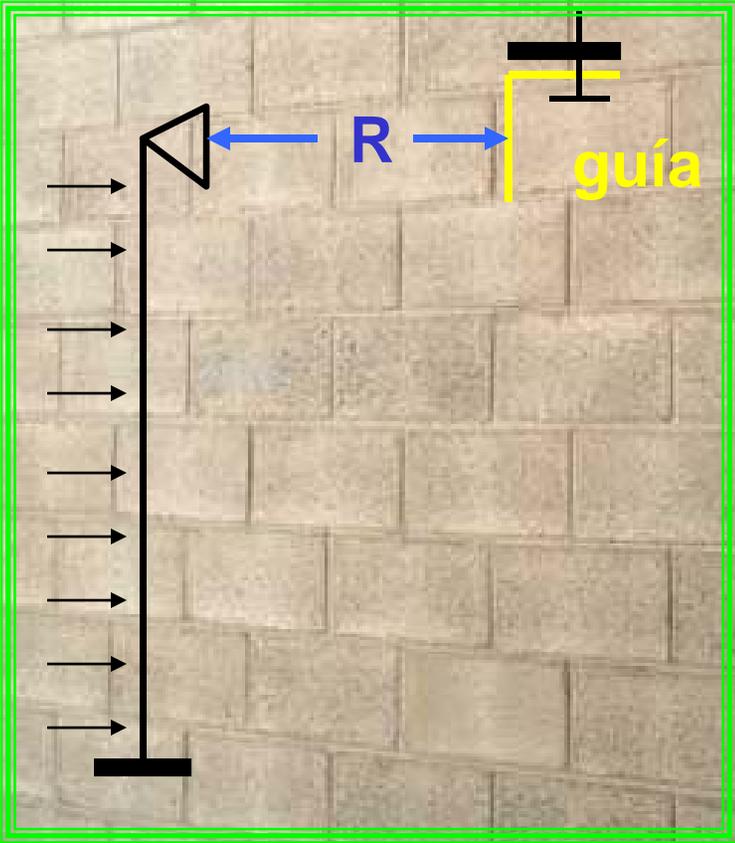




## **Perfiles para evitar el volcamiento transversal**

- **Perforaciones en la viga**
- **Instalación de pernos**
- **Instalación de perfiles angulares**

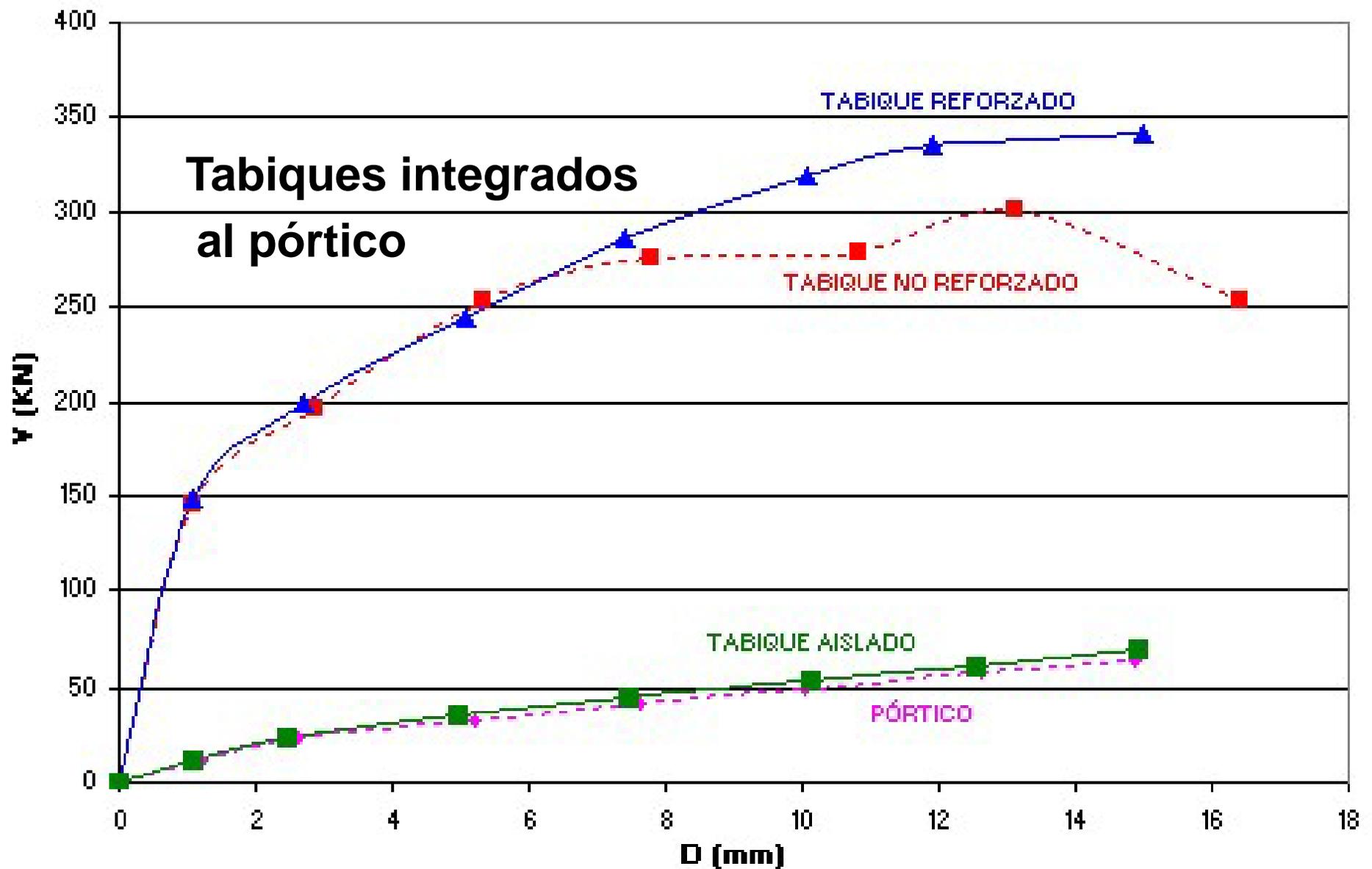
guías para evitar el volcamiento



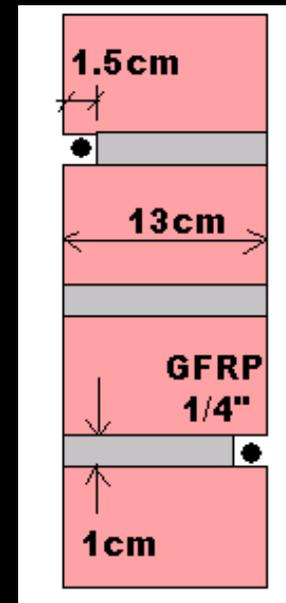


**Aplastamiento  
del tecnopor**

## Reforzamiento de Tabiques con Varillas de Fibra de Vidrio







**Reparación de un muro de albañilería confinada empleando varillas de fibra de vidrio y mortero de cemento.**

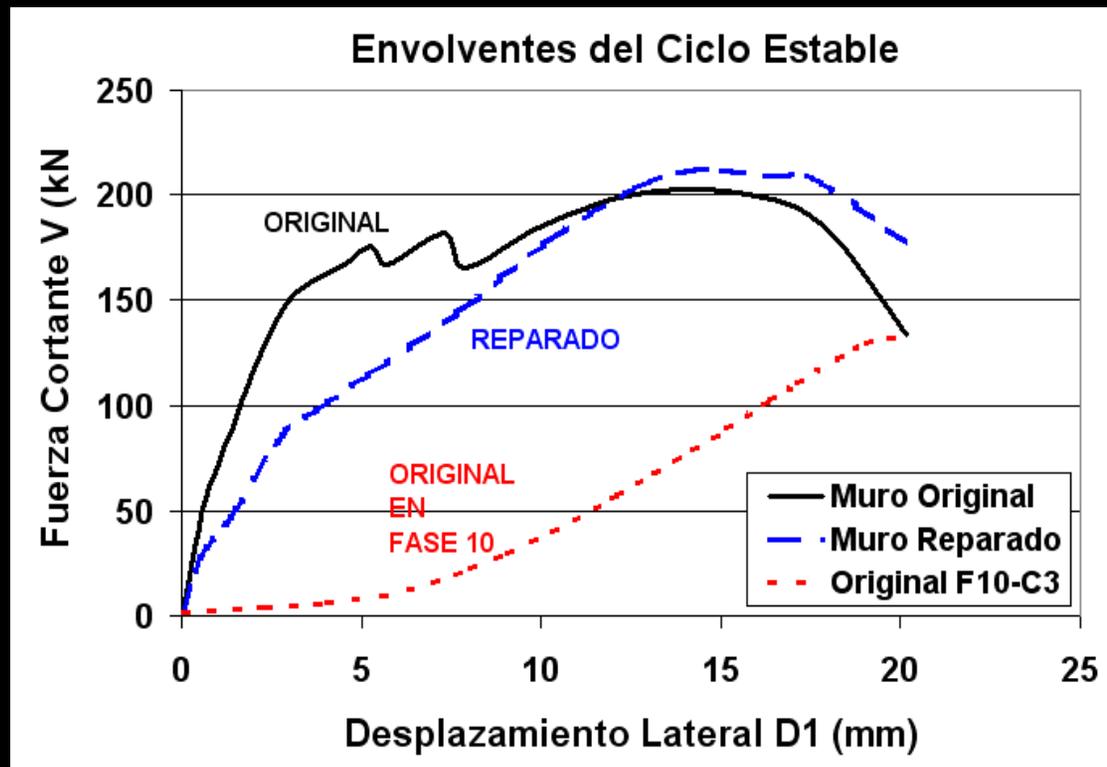




**Original**



**Reparado**



# REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO

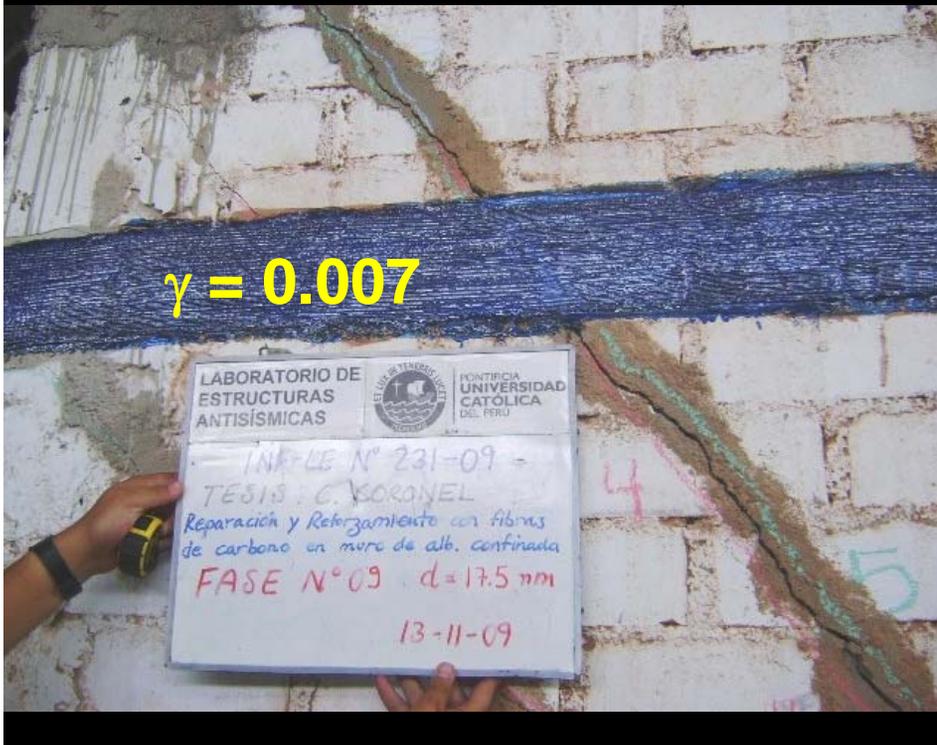
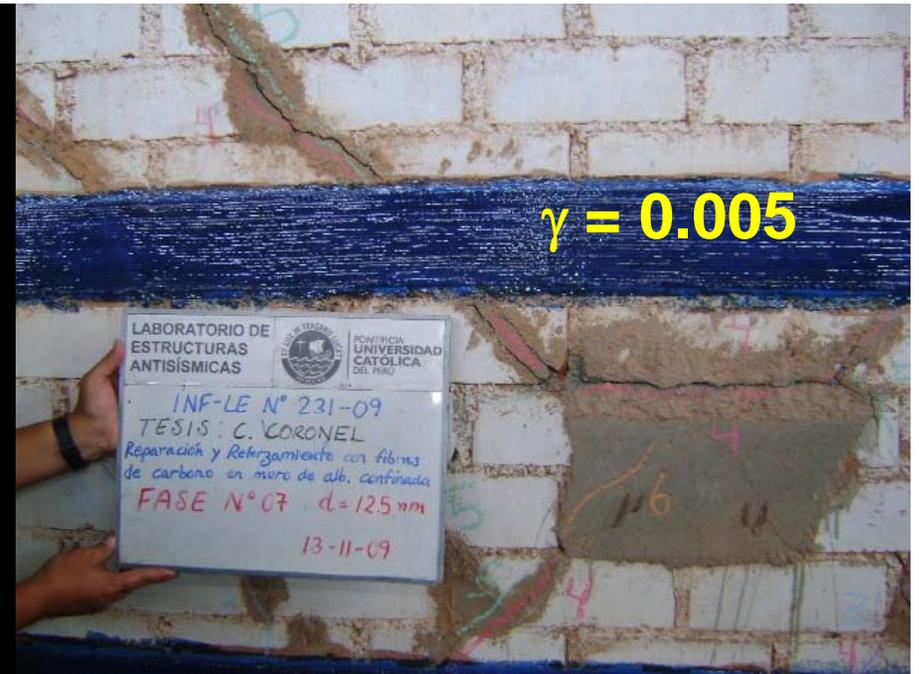


Muro original



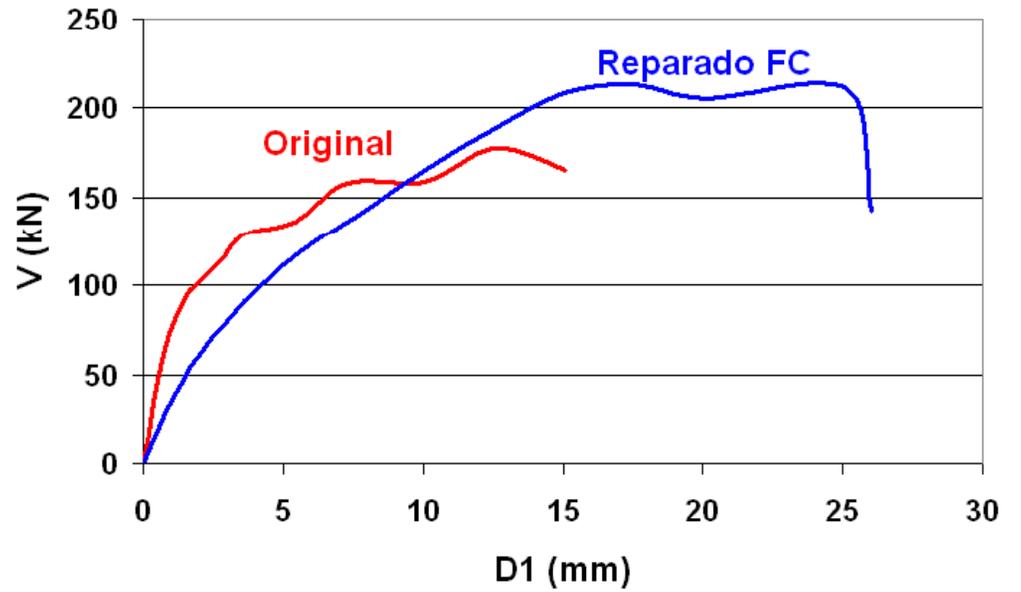






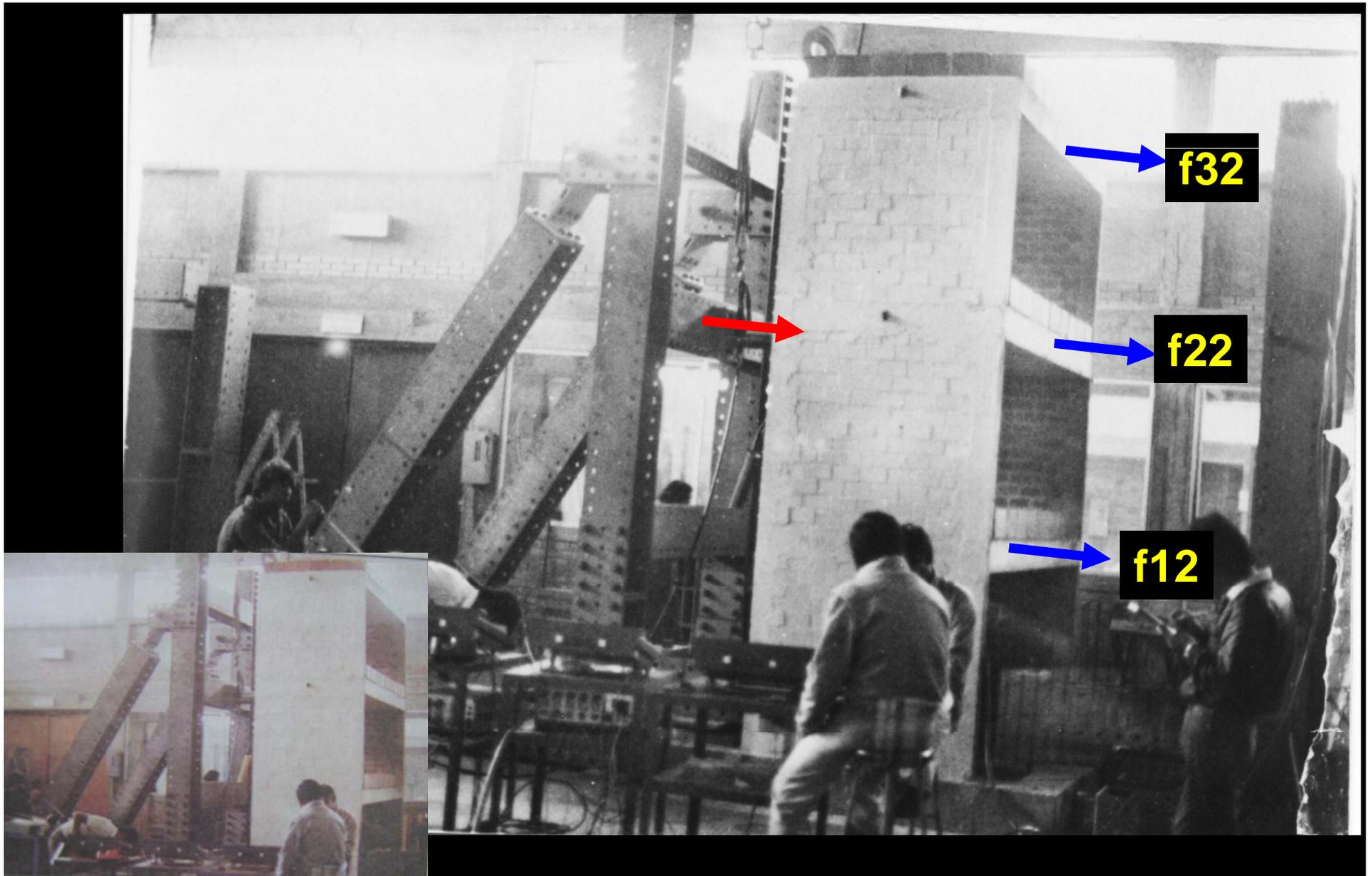
**Deriva = 0.01**



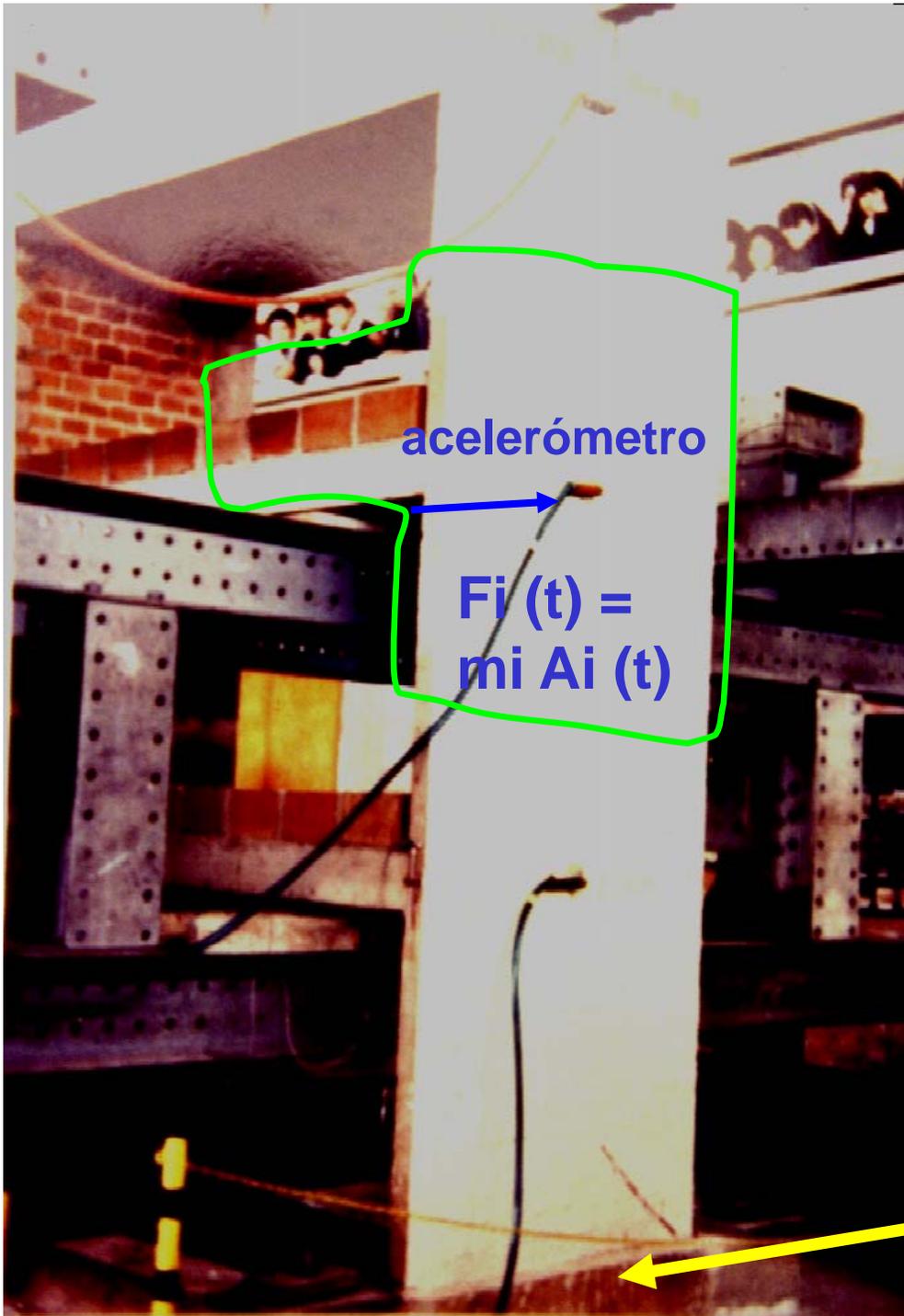


# Ensayos Dinámicos en Mesa Vibradora [Simulación Sísmica]

**OBJETIVO: CORROBORAR LOS RESULTADOS DE LOS  
ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICA**



**Cálculo experimental de la Matriz de Flexibilidad. También se determina el período fundamental empleando sismógrafo.**



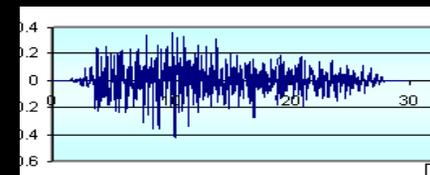
acelerómetro

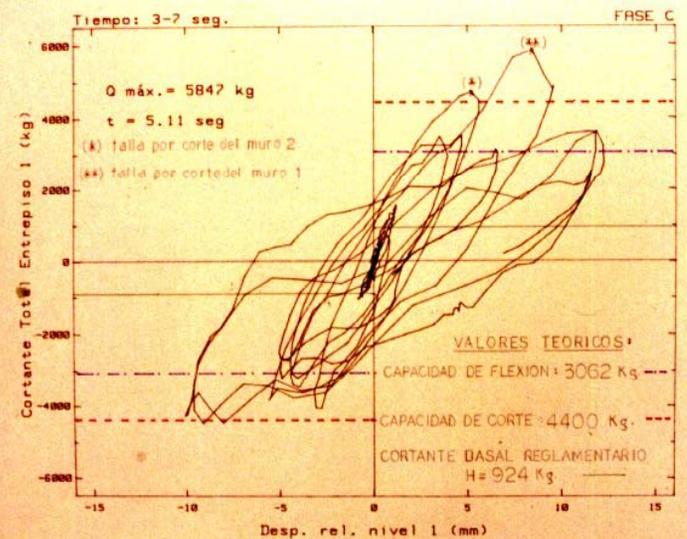
$$F_i(t) = m_i A_i(t)$$



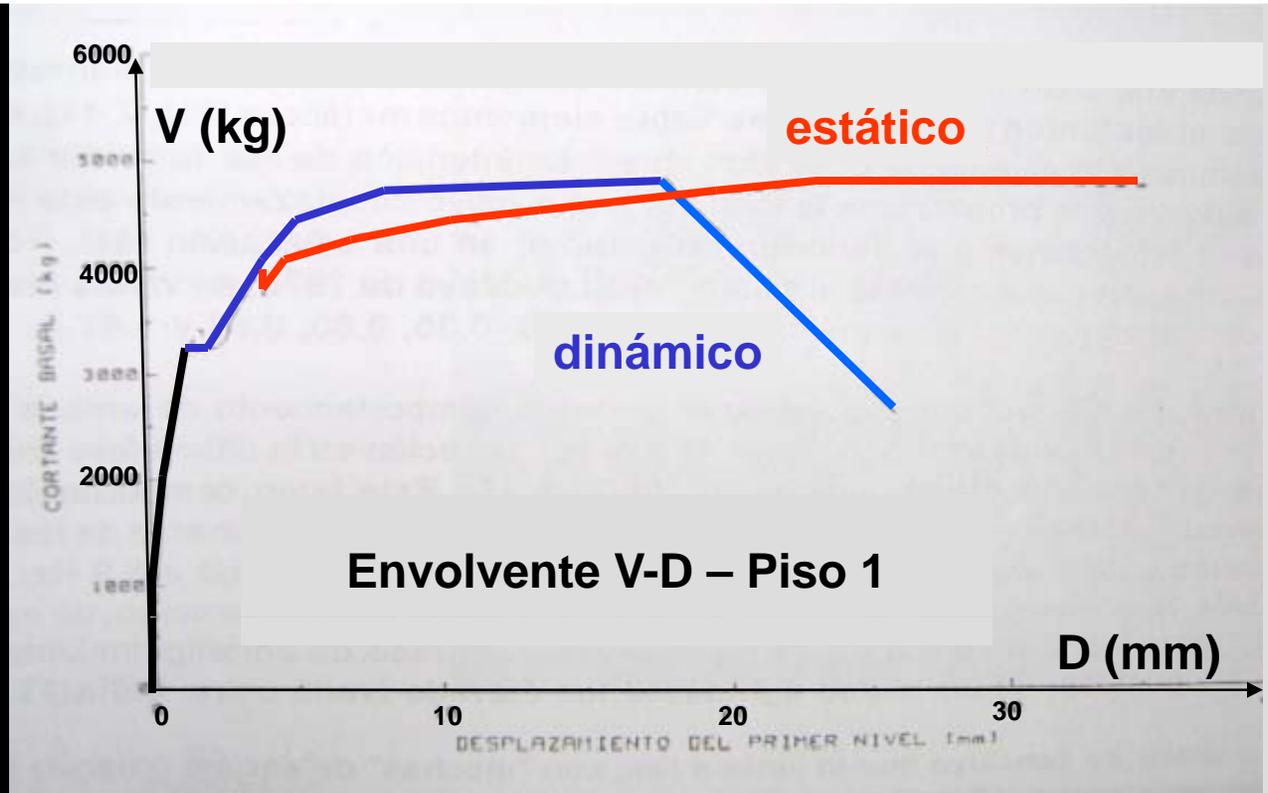
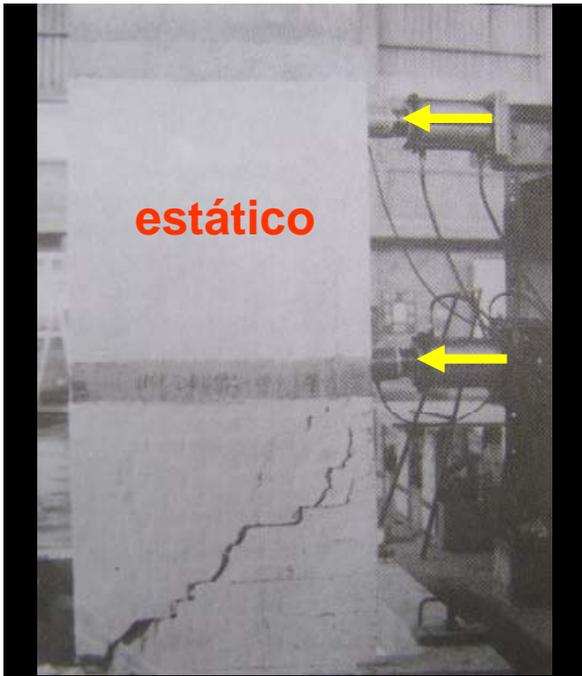
Conociéndose  
 $F_i$ , puede  
hallarse por  
equilibrio  
 $V_i, M_i$

**SISMO**

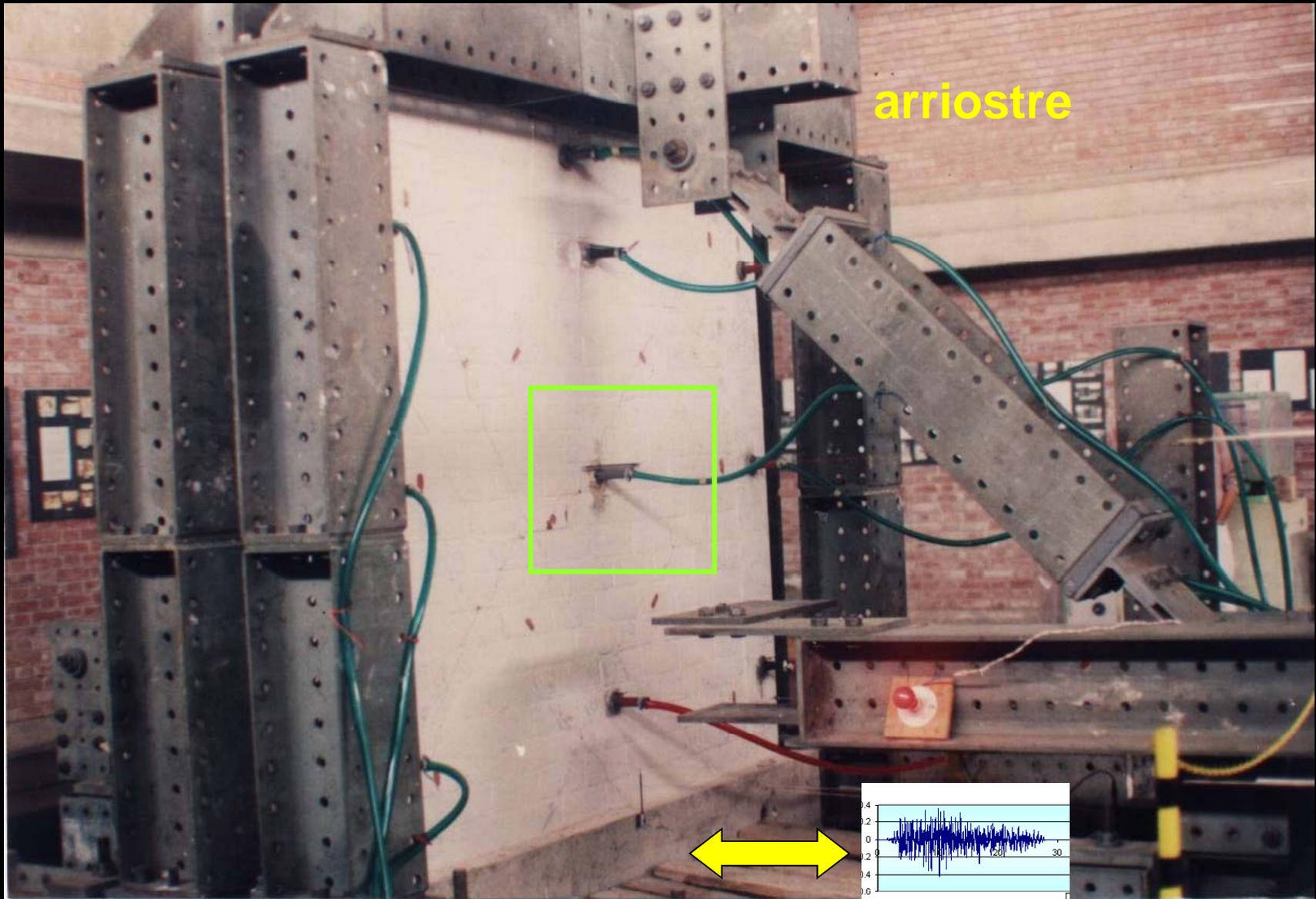




CORTANTE TOTAL - DESPLAZAMIENTO, PRIMER ENTREPISO - FASE C



**La rigidez inicial y la resistencia no cambian, pero varían la ductilidad y el deterioro.**

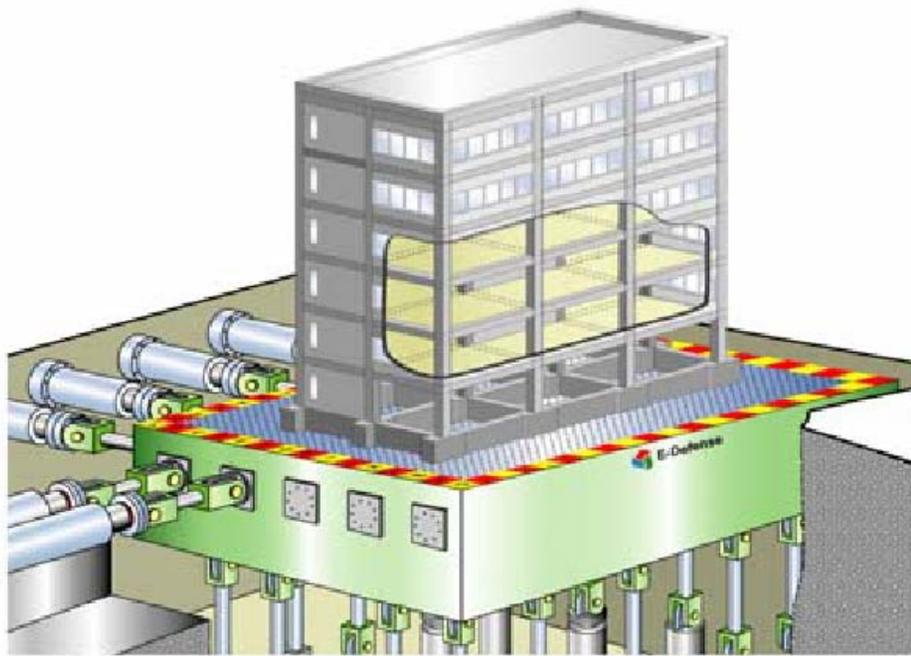


**Ensayo sísmico perpendicular al plano del muro**



**Mesa Vibradora  
japonesa, de 6x10 m  
con 6 grados de  
libertad**





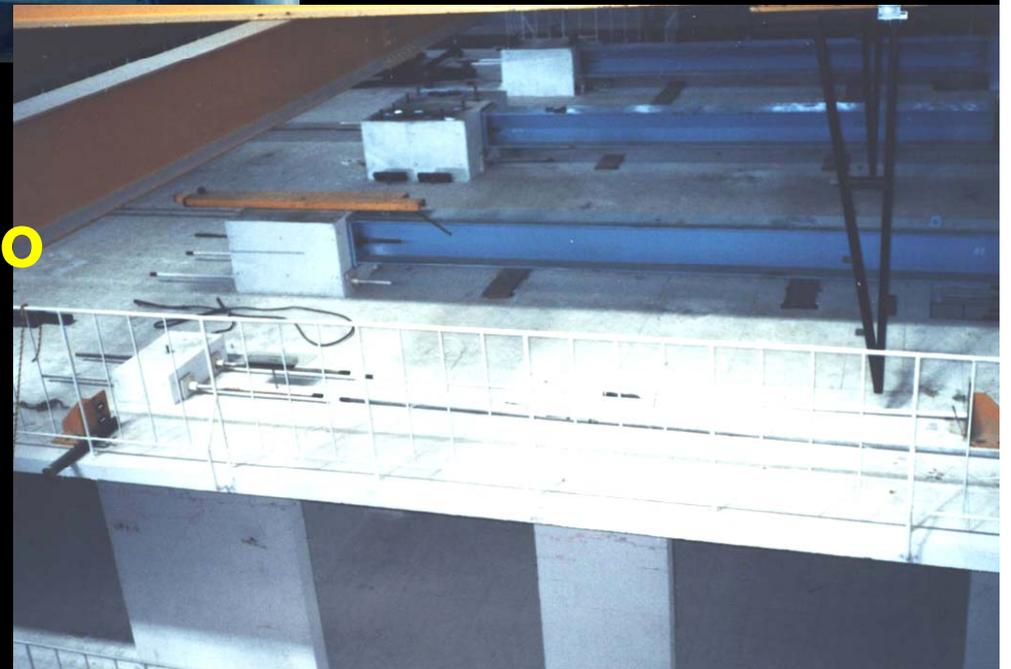
**HYOGO, Japón**



# Ensayo Pseudo-Dinámico



**Ensayo Pseudo-Dinámico  
en un edificio de albañilería  
armada. Japón, 1988.**







**CISMID**

**Vivienda de  
Albañilería  
Confinada**

