

ENSAYOS DE CARGA LATERAL EN MUROS CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO -EFECTOS DEL REFUERZO-

Por: Víctor Ramirez (*), Christian Saavedra (*) y Ángel San Bartolomé ()**
(*) UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
() PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

RESUMEN

En el marco del Convenio entre la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UNPRG) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), se efectuaron ensayos de carga lateral cíclica en 5 muros (2.0x2.0 m), compresión diagonal en 12 muretes (0.8x0.8 m) y compresión axial sobre 8 pilas (0.6m de altura). Se analizó principalmente el efecto del refuerzo y del relleno con grout en las celdas de los bloques sobre el comportamiento sísmico de los especímenes indicados.

INTRODUCCIÓN

Uno de los sistemas estructurales tradicionalmente utilizados para la construcción de viviendas en zonas del Perú que están alejadas de las plantas de ladrillos de arcilla, es la albañilería hecha con bloques huecos de concreto vibrado, fabricados en el lugar de la obra. Requiriéndose conocer su comportamiento sísmico, se ejecutó este proyecto en donde la variable principal es el efecto del refuerzo horizontal y vertical sobre la resistencia, rigidez y ductilidad de los muros a escala natural sujetos a carga lateral cíclica con desplazamiento controlado. Paralelamente, se investigó el efecto del relleno parcial o total en las celdas del bloque, sobre la resistencia de pilas y muretes sujetos a compresión axial y diagonal, respectivamente.

1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

1.1 Unidades

En la Fig.1 se muestra el bloque utilizado, y en la Tabla 1 se presenta los resultados obtenidos según Normas ITINTEC. Estos bloques fueron asentados en seco a fin de evitar problemas por contracción.

1.2 Mortero

Se utilizó mortero 1:1:4, agregándose cal para de este modo aumentar su retentividad, ya que los bloques presentaron elevada succión. La arena fue gruesa y tamizada por la malla #4 ASTM. Se preparó el mortero en cantidad suficiente como para utilizarlo en una hora de trabajo. El espesor de las juntas verticales y horizontales fue 1cm. El mortero cubrió totalmente la sección del bloque, dejando libre sólo las celdas. La resistencia promedio a compresión de 8 probetas fue 127 kg/cm².

1.3 Concreto

El concreto usado para la construcción de la solera y viga de cimentación, tuvo una resistencia promedio a compresión a los 28 días: $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

1.4 Concreto Fluido

El concreto fluido usado como relleno en los alveolos del bloque, fue de proporción volumétrica: 1:1/10: 2 1/2 : 1 1/2 (cemento:cal:arena gruesa:confitillo de 3/8"); su revenimiento varió entre 8 y 10 pulgadas y su resistencia promedio a la compresión a los 28 días fue: 190 Kg/cm².

1.5 Refuerzo

En la Tabla 2, se muestra las características principales del acero utilizado. Cabe mencionar que el refuerzo horizontal, usado en las juntas del muro fue una malla electro soldada en forma de escalera.

2. ESPECIMENES

2.1 En la Fig. 2, se muestra las dimensiones nominales de los muros, muretes y pilas. En la Fig. 3, se indica el reforzamiento de los cinco muros, anotándose que el refuerzo vertical fue diseñado para evitar la falla por volcamiento y fue continuo a fin de evitar la variable traslape.

2.2 Respecto a la construcción de los muros, en la Fig. 4 se ilustra el proceso seguido.

3. ENSAYOS

3.1 Pilas a Compresión Axial

Se ensayaron a los 28 días de edad en una Máquina Universal de 100 ton. de capacidad. La velocidad de carga fue 10 ton/min. Se colocó un LVDT que permitió medir el desplazamiento relativo entre 2 puntos (equidistantes 30 cm) en el eje de la pila. La falla típica fue la de una grieta vertical que cortaba bloque y mortero como se aprecia en la Fig. 5.

3.2 Muretes a Compresión Diagonal

Se colocaron 2 LVDT que permitía medir los desplazamientos relativos entre 2 puntos (equidistantes 35 cm) al tercio de cada diagonal. La velocidad de carga fue 1 ton/min. La falla típica fue a través de las juntas (escalonada) para los muretes sin relleno y mixta (grietas atravesando juntas y bloques) para los muretes con relleno en sus alveolos. Ver Fig. 6.

3.3 Muros en Voladizo a Carga Lateral

En la Fig. 7, se muestra vistas de los dispositivos empleados para los ensayos de los muros. El ensayo constó de 8 fases cíclicas de carga y descarga con desplazamiento horizontal controlado. En cada fase, se aplicaba un número variable de ciclos hasta tener estabilizado el lazo histerético. La velocidad del ensayo fue de 1 ciclo en 4 minutos. En la Fig. 8, se muestra los desplazamientos máximos generados en cada fase (relativo entre losa solera y viga de cimentación, en el eje del muro).

4. RESULTADOS

4.1 Pilas y Muretes

Para la determinación de la resistencia, se utilizó como carga de rotura a la máxima registrada, la resistencia unitaria se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área neta de la pila y para el caso de muretes a la carga de rotura diagonal proyectada en la dirección de las hiladas dividida entre el área neta de la sección transversal.

El módulo de elasticidad E (pilas) y el módulo de corte G (muretes), se calculó del gráfico esfuerzo unitario-deformación unitaria, como la pendiente de la recta que unía a 2 puntos correspondientes al 15% y 50% del esfuerzo de rotura. Los resultados están contenidos en la Tabla 3.

4.2 Muros en Voladizo a Carga Lateral Cíclica

En la Fig. 9 se anota una serie de definiciones. El esfuerzo cortante fue calculado como la fuerza lateral (V) entre el área neta de la sección transversal (Fig. 2). Se trazó la envolvente de esfuerzos cortantes correspondiente al ciclo estable en cada muro y éstas se muestran en la Fig. 10. Se calculó (Fig. 9) la rigidez lateral inicial (K_0), los esfuerzos asociados a los puntos F y M y los resultados aparecen en la Tabla 4.

En cada fase del ensayo y por cada muro se halló (Fig. 9) el coeficiente de reducción por ductilidad (R_D), el coeficiente de amortiguamiento equivalente (E), la degradación de rigidez lateral (K/K_0), la capacidad de absorción de energía (E_H) así como el espesor máximo de grieta correspondiente al instante en que se aplicaba el máximo desplazamiento de la fase del ensayo; los resultados pueden observarse en las Figs. 11, 12 y 13. En la Fig. 14, se muestra el estado en que quedaron los 5 muros posterior al ensayo.

4.2.1 Comportamiento de los Muros

Los 5 muros presentaron prácticamente el mismo comportamiento (similar resistencia, rigidez y patrón de agrietamiento) hasta el instante en que se logró la máxima resistencia (punto M, entre 7 y 10 mm).

La primera fisura visible (punto F) se produjo escalonadamente a través de las juntas y hasta llegar al punto M las fisuras fueron relativamente finas. Posterior al punto M, se apreció gran diferencia en el comportamiento de los 5 muros, observándose que en estas etapas las grietas diagonales eran de considerable magnitud (especialmente en los muros 1, 3, 4 y 5) y las esquinas inferiores flexocomprimidas tenían gran deterioro (las 2 esquinas de los muros 3 y 4 y una de las esquinas del muro 1).

5. CONCLUSIONES

5.1 Efecto del Reforzamiento en los Muros

Se ha seleccionado como patrón de comparación, a la rama negativa de la envolvente de esfuerzos correspondiente al muro 1 (Fig.13); debido a que esta rama presenta degradación de resistencia producida por la flexocompresión en una de sus esquinas inferiores, fenómeno que se presentó en mayor o menor grado en los 5 muros.

5.1.1 Reforzamiento Horizontal

El muro 2 (malla ϕ 1/4") fue el que mejor comportamiento tuvo entre los 5 muros, sus grietas al terminar el ensayo fueron finas en relación al resto de muros. Notándose (Fig. 10), que el refuerzo entra a trabajar en tracción directa posterior a la aparición de la primera fisura visible y a partir de ese instante conforme se vayan abriendo las grietas, la diferencia entre el comportamiento del muro 2 respecto al 1 se van acentuando.

El muro 3 (malla ϕ 3/16", sin punto de fluencia), presentó una fracturación de sus mallas centrales (prueba que el refuerzo en la junta trabajó) en el instante de máxima carga y la energía acumulada en el refuerzo se disipó violentamente contra el muro

resultando ser este muro el que mayor deterioro tuvo al término del ensayo (ver Fig. 15).

5.1.2 Reforzamiento Vertical

El muro 4, tenía 2 ϕ 1/2" verticales en adición a los que tenía el muro 1 (Fig. 3), se observó que la capacidad resistente máxima se incrementó aunque su resistencia unitaria (fuerza cortante entre área neta) se mantuvo constante en relación al resto del muro, (Fig. 10). Sin embargo, su comportamiento posterior al punto de máxima resistencia fue similar al muro 1, es decir el refuerzo vertical actuando como dowell resultó ineficiente.

5.1.3 Confinamiento del Concreto Fluído con Estribos a Corto Espaciamiento

El muro 5 mostró al término del ensayo, que mientras el bloque en las esquinas inferiores flexocomprimidas estaban trituradas, el núcleo de concreto fluído confinado en estribos estaba intacto (Fig. 16). La mejora en el comportamiento posterior al punto de carga máxima es notoria en relación al muro 1 (Fig. 10).

5.2 Efecto del Relleno en los Alveolos de Pilas y Muretes

De la tabla 3, se observa que las resistencias unitarias a compresión axial o a compresión diagonal de los especímenes rellenos o no, son parecidos. Y al igual que en el muro 4 (ver 5.1.2), se puede decir que al rellenar alveolos con concretos fluído cuya resistencia a compresión sea similar al bloque, la capacidad portante a carga vertical o lateral se incrementa en función de aumentar el área neta del muro.

Debido a la poca cantidad de especímenes y a la alta variabilidad de resultados (Tabla 3), se sugiere trabajar con una dispersión mínima de resultados igual a 20%, y adoptar los siguientes valores característicos basados en el criterio de reducir una desviación estándar al valor promedio.

$$f'm = 105 (1-0.2) = 85 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (pilas)}$$

$$v'm = 12 (1-0.2) = 9.5 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (muretes)}$$

observándose (al igual que la Ref. 1) que: $v'm = \sqrt{f'm}$

6. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Planta Concreto Vibrado S. A. y a la Compañía Minera Buenaventura por haber donado los bloques necesitados para la ejecución de este trabajo.

7. REFERENCIAS

1. Ensayos de Carga Lateral en Muros de Albañilería Confinados. Correlación de Resultados entre Especímenes a Escala Natural y Probetas Pequeñas.
Convenio ITINTEC-PUCP 82-83

NOTA: Este proyecto se realizó en el año 1984, cuando ya estaba vigente la Norma de Albañilería E-070-ININVI-1982.

TABLA 1
(Características del Bloque - Valores Promedio)

Bloque de Concreto	Valores Promedios	No. de Especímenes
Dimensiones (cm)	19.7 x 19.7 x 39.7	8
Area bruta (cm ²)	782	8
Area neta (cm ²)	454	4
f _p (Kg/cm ²) sobre área neta	115	5
Absorción (% del peso natural)	5.3	4
Succión (gr/200 cm ² /min)	38.4	4
Peso natural (Kg)	20.3	4

TABLA 2
(Características del Refuerzo - Valores Promedio)

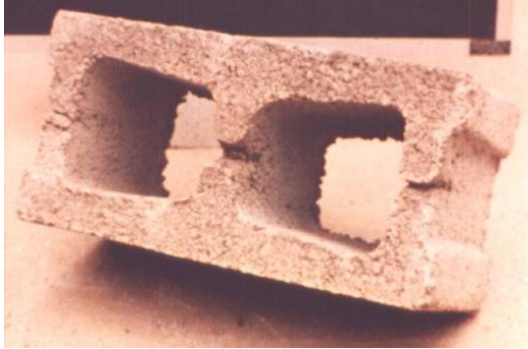
Diámetro (Ø)	Característica	f _y (Kg/cm ²)	f _m max (Kg/cm ²)	# de Es- pecímenes
1/2"	Corrugado	4,305	6,632	2
1/4"	Liso	6,479	6,656	3
1/4"	Malla electro soldada	6,434	6,602	2
3/16" (3.5 mm)	Liso trefilado	Sin fluencia	8,326	3
3/16" (3.5 mm)	Malla electro soldada	Sin fluencia	3,326	2

TABLA 3
(Resultados de los Ensayos en Pilas y Muretes)

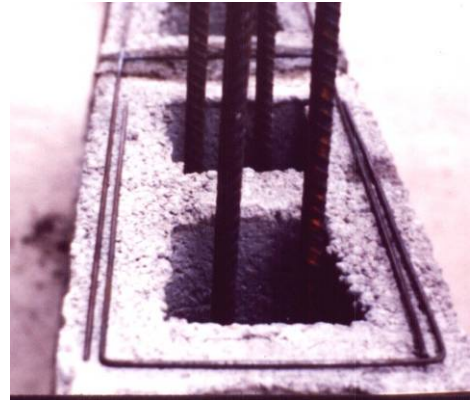
Espécimen	Características	Resit. Promedio f _m o v _m (Kg/cm ²)	CV (%)	E o G (Kg/cm ²)	# de Es- pecímenes
Pilas	Sin relleno	109	11.4	70,312	4
	Con relleno	101	17.8	116,950	4
Muretes	Sin relleno	12.4	1.0	39,756	4
	Parcialmente relleno	10.9	6.0	30,873	4
	Totalmente relleno	14.3	15.0	42,146	4

TABLA 4
(Resultados de Ensayos en Muros)

Muro	Rigidez Lateral Inicial	Esfuerzos Cortantes (sobre área neta)	
	K ₀ (tn/mm)	V _F (Kg/cm ²)	V _M (Kg/cm ²)
1	20.15	2.68	6.22
2	14.23	2.08	6.57
3	14.53	2.38	6.35
4	18.23	2.43	6.31
5	12.00	2.41	6.03



Bloque Normal

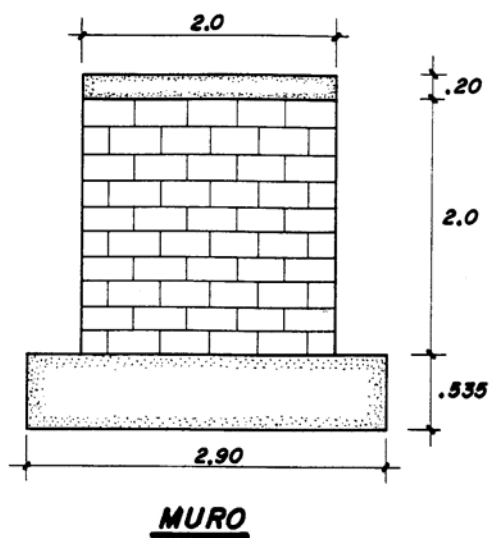


Bloque Normal en el muro M3

Bloque
Recortado usado
en la esquina del
muro M5



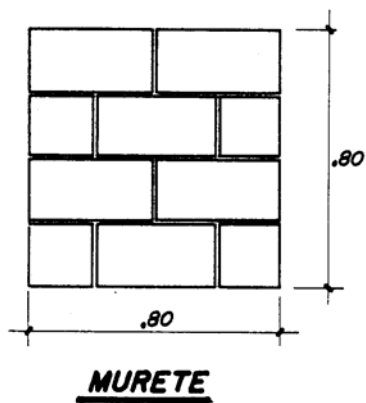
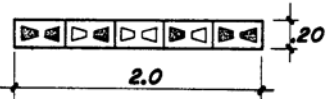
Fig.1. Características de los bloques.



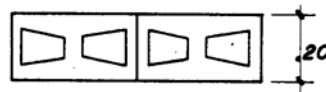
MUROS 1, 2, 3 y 5
 Area neta 3114 cm²



MURO 4
 Area neta 3409 cm²



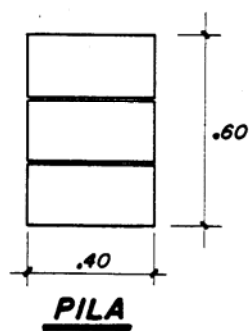
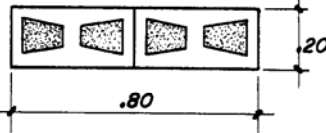
4 muretes sin relleno
 Area neta 1000 cm²



4 muretes parc. relleno
 Area neta 1279 cm²



4 muretes totalm. relleno
 Area neta 1556 cm²



4 pilas sin relleno
 Area neta 454 cm²



4 pilas con relleno
 Area neta 782 cm²

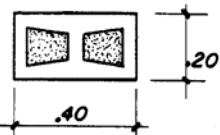
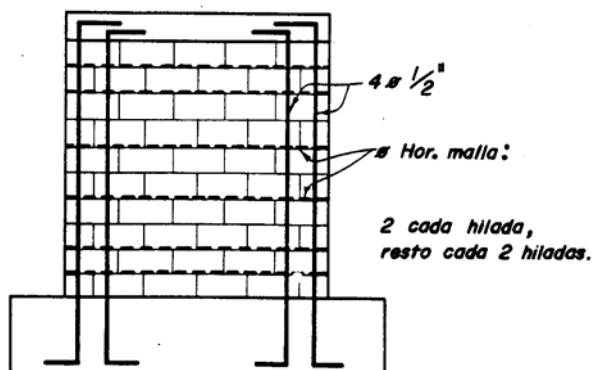
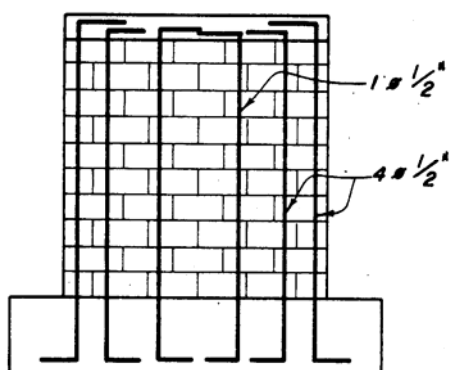
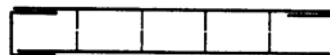


Fig.2. Dimensiones nominales (m), forma y cantidad de muros, muretes y pilas.

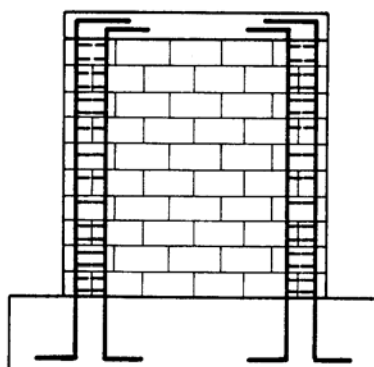


- MURO 1** ♦ Hor. = 0
 $\int_H = 0$
- MURO 2** ♦ Hor. malla $\frac{1}{4}$ "
 $\int_H = 0.08\%$
- MURO 3** ♦ Hor. malla $\frac{3}{16}$ "
 $\int_H = 0.04\%$
 ♦ Vertical total = $8 \text{ } \frac{1}{2}$ "

Forma de la malla tipo escalera electrosoldada



- MURO 4** ♦ Horizontal = 0
 ♦ Vertical total = $10 \text{ } \frac{1}{2}$ "



- MURO 5** ♦ Horizontal = 0
 ♦ Vertical total = $8 \text{ } \frac{1}{2}$ "
- Estridos ♦ $\frac{1}{4}$ " : 6@.10 , 3@.20 , 7@.10
- Bloques extremos con alma recortada

Fig.3. Refuerzo de los 5 muros.

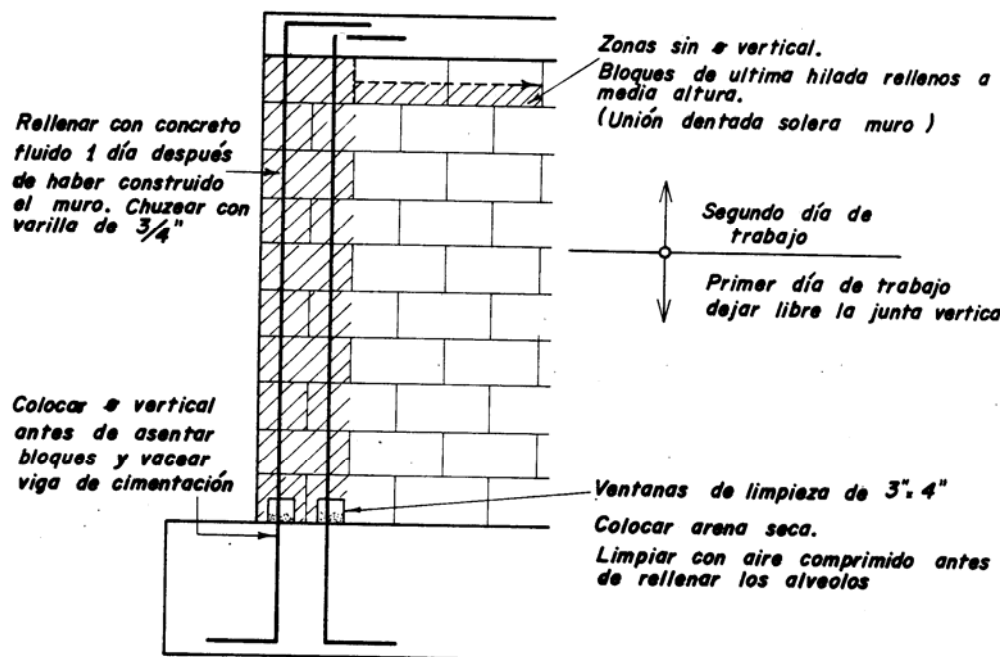


Fig.4. Detalle en la construcción de los muros.

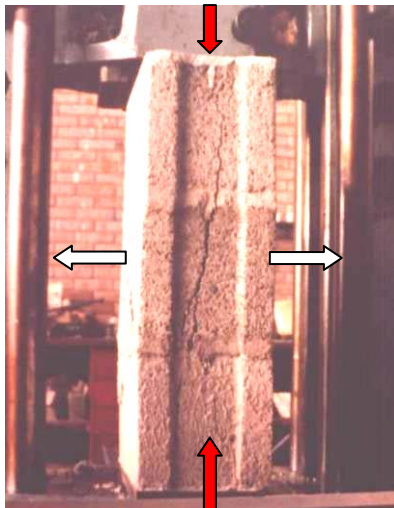


Fig.5. Pila ensayada a compresión axial.

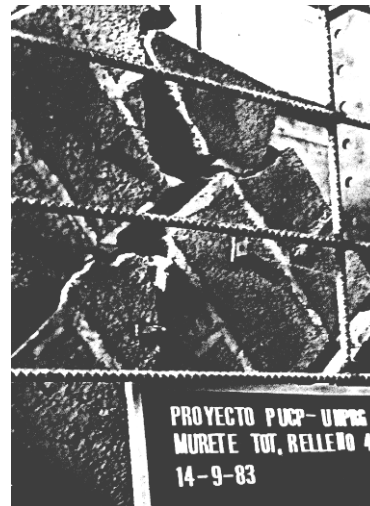


Fig.6. Murete ensayado a compresión diagonal.

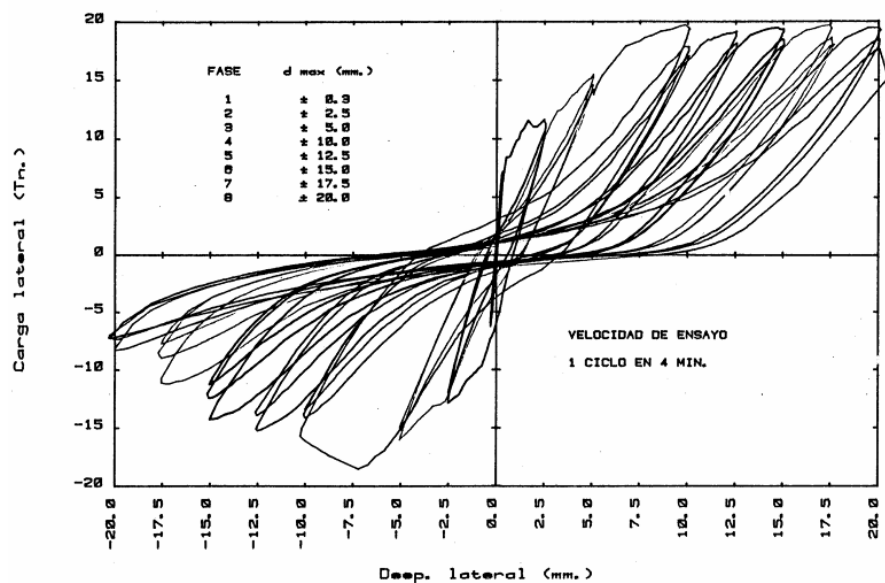


Fig.8. Fases del ensayo cíclico (Muro M-1)

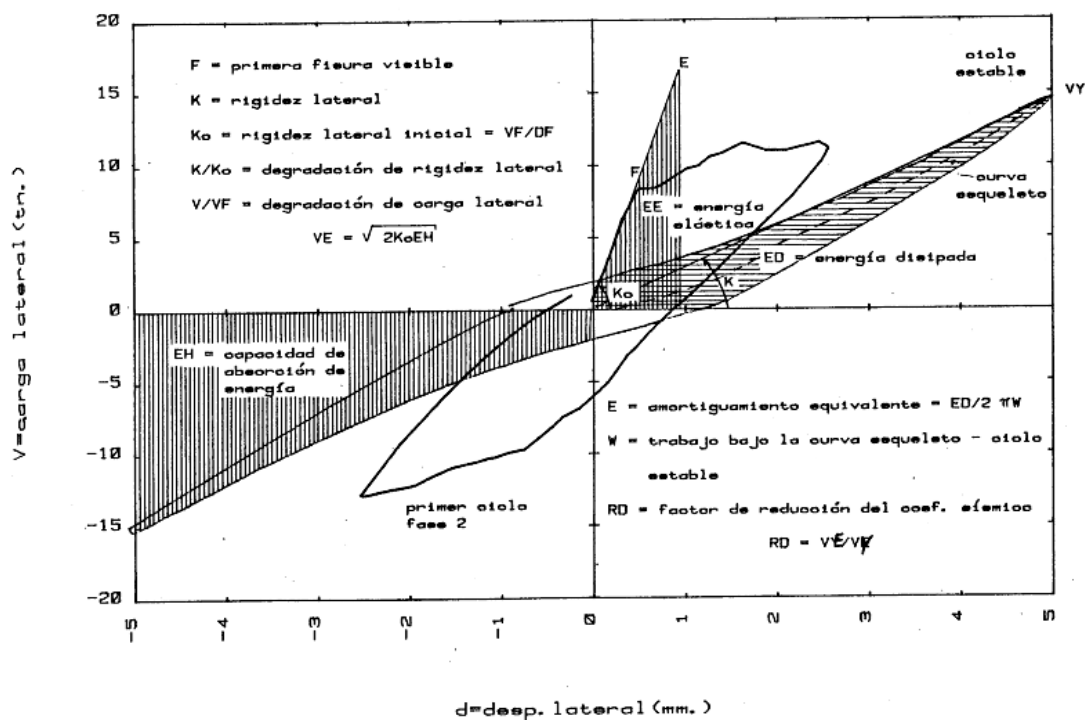


Fig.9. Definiciones (ejemplo muro M-1)

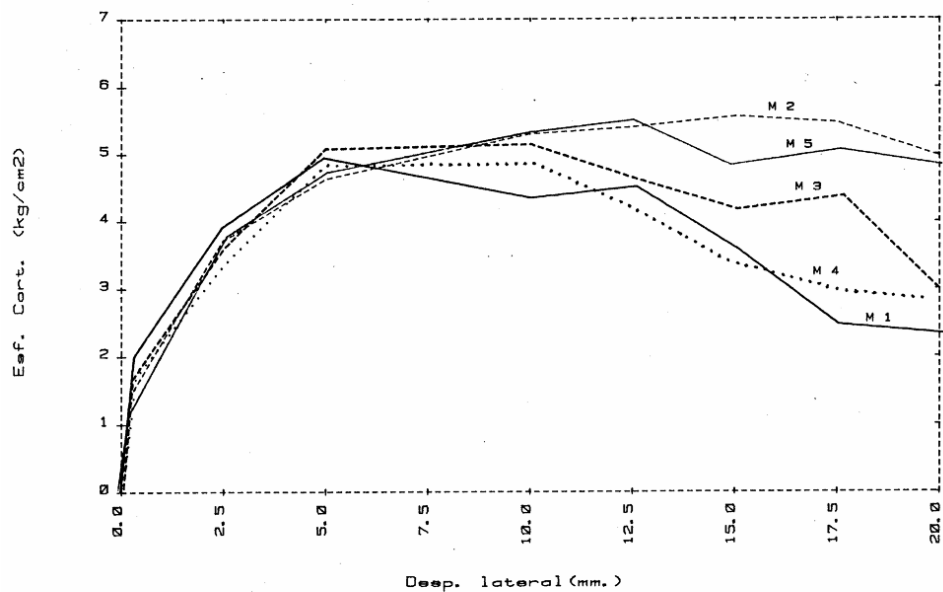
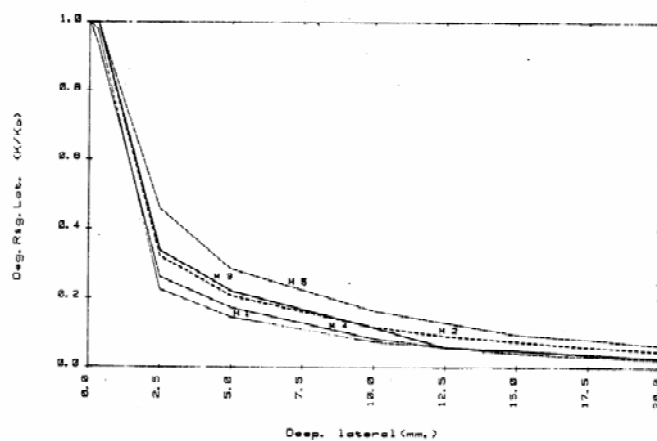
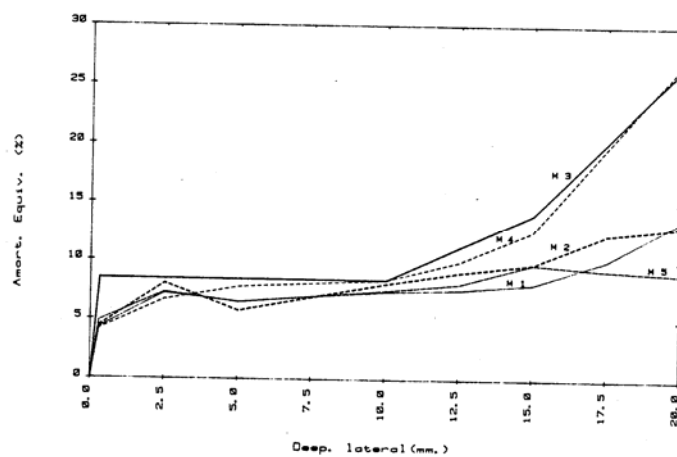


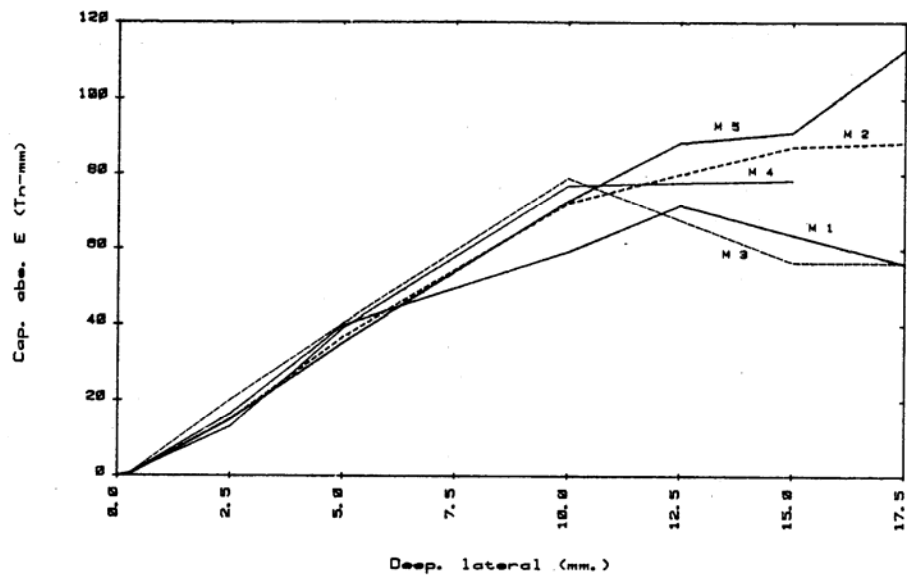
Fig. No 10. ENVOLVENTES DE ESFUERZO CORTANTE



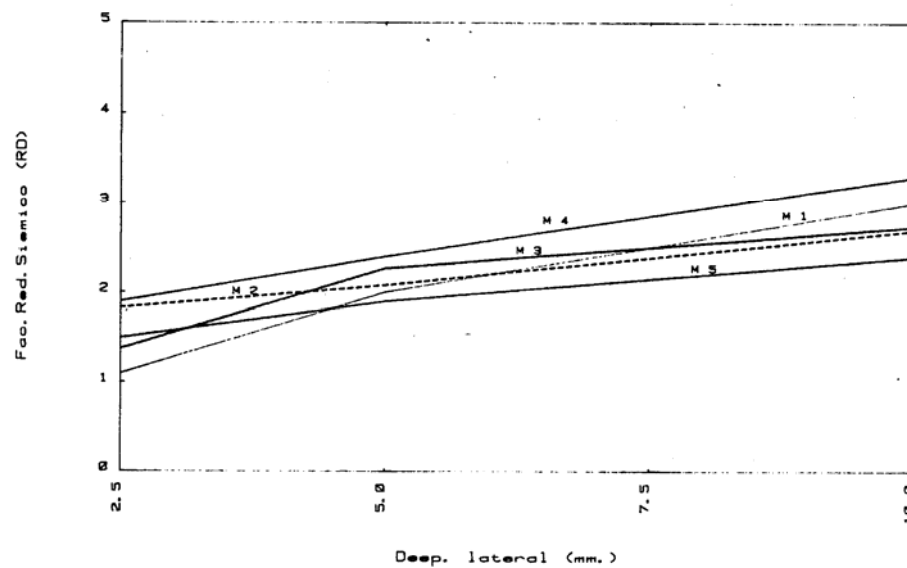
DEGRADACION DE RIGIDEZ LATERAL

Fig.11

Amortiguamiento
equivalente
(arriba) y
degradación de
rigidez lateral
(abajo).



CAPACIDAD DE ABSORCION DE ENERGIA (EH)



FACTOR DE REDUCCION SISMICO (RD)

Fig.12. Capacidad de Absorción de Energía y Factor de Reducción.

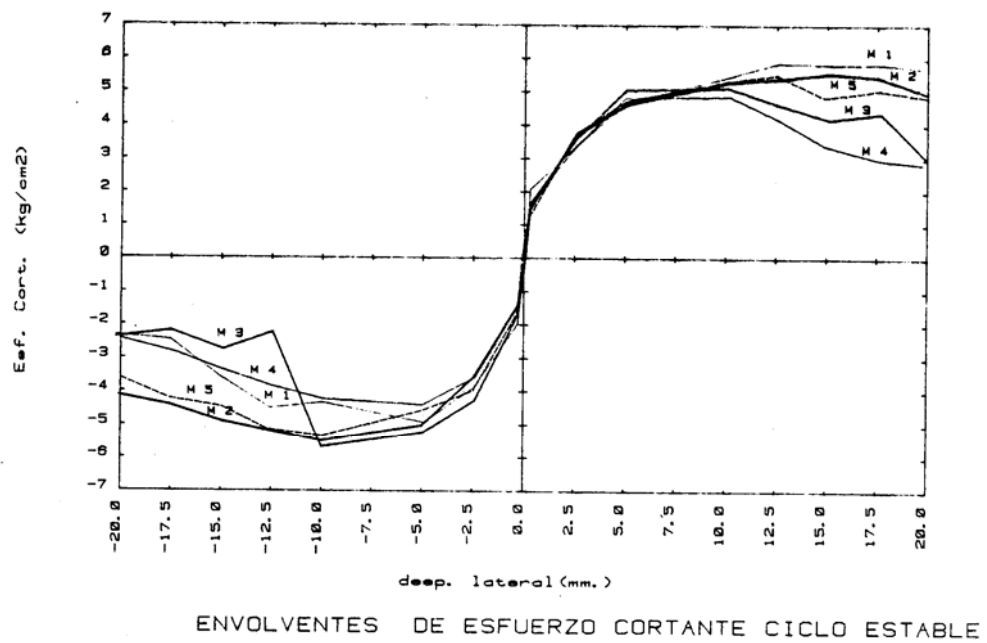
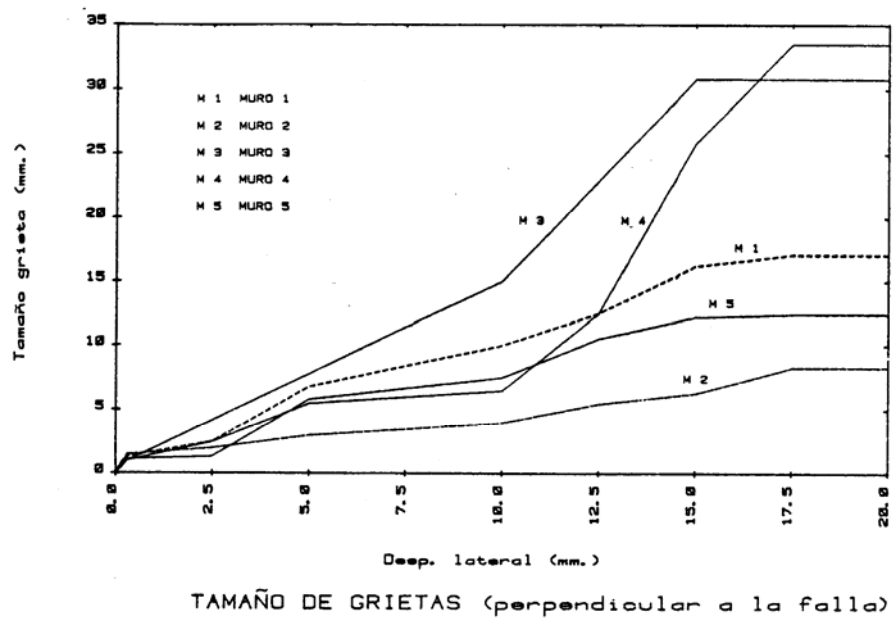


Fig.13. Tamaño de Grietas y Envolvente de Esfuerzo Cortante.

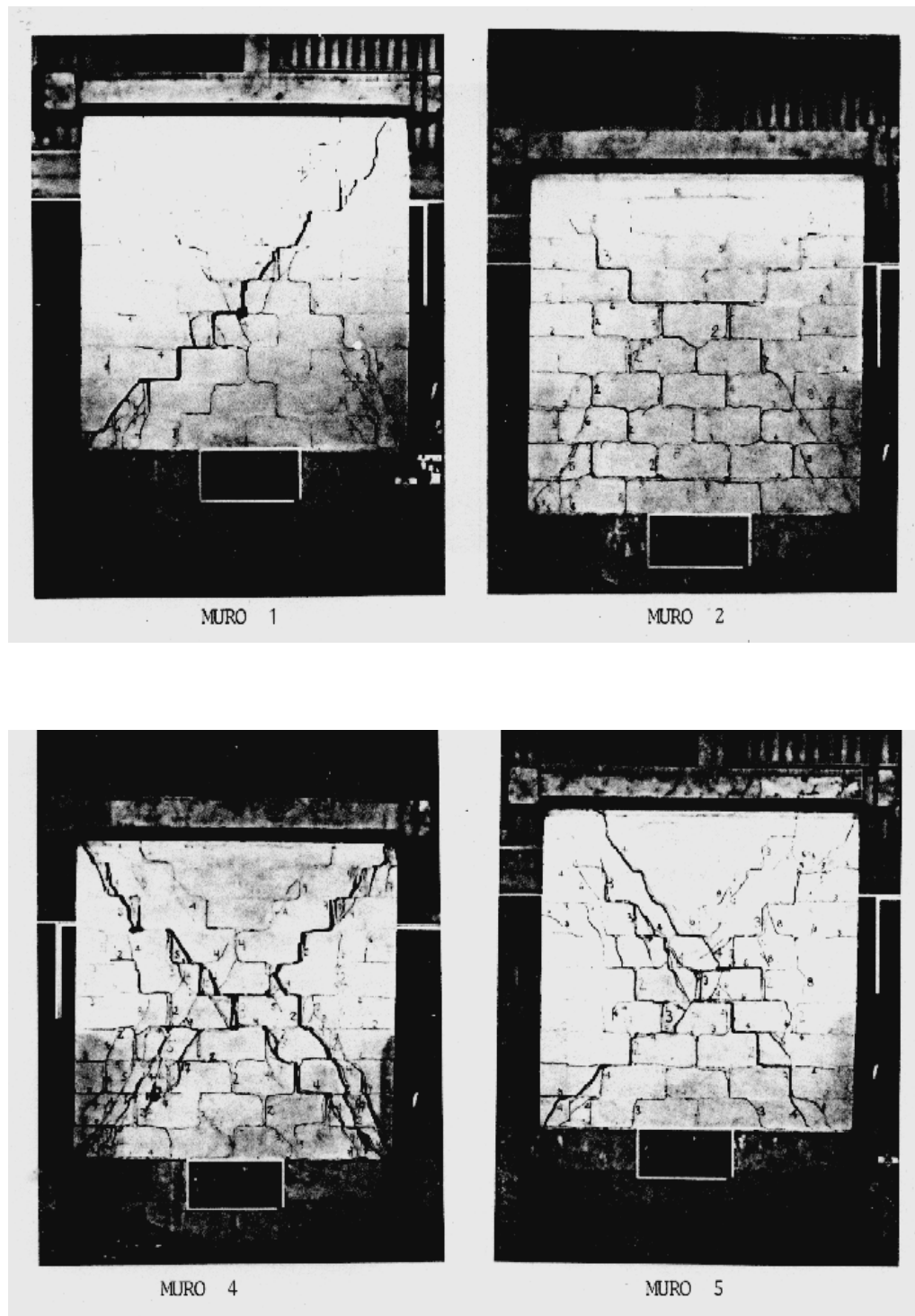


Fig.14. Estado de los muros al término del ensayo.

Fig.15

Muro 3. Rotura de la malla de 3/16" y trituración de celdas vacías.



Fig.16

Verificación de la verticalidad del refuerzo extremo después del ensayo, en el muro M-1 (derecha) y en el muro M-5 (abajo) con el núcleo confinado por estribos.

