

DISEÑO SISMICO DE MUROS DE CONCRETO
RESULTADOS DE LA PRIMERA ETAPA DE UN ESTUDIO EXPERIMENTAL

O. Hernández B.
R. Meli

ABSTRACT

A research program is described, whose main objectives are to develop better design procedures and propose types of reinforcement for a more satisfactory seismic behaviour of concrete shear walls.

In the first stage of the research twelve walls made of microconcrete were tested under alternating load. The effect of confining columns and transverse walls as well as that of extreme and intermediate slabs crossing the walls were studied for specimens with two different height to length ratios. Results from such a stage are commented in this paper.

It was observed that the behaviour of the specimens tested was, in general, of a brittle nature with a considerable amount of deterioration due to the repetition of loads. The effect of confining elements, both horizontal and vertical, was noticed to be of little importance.

Another series of tests is being carried out for the study of new variables and types of reinforcement.

RESUMEN

Se describe un programa de investigación cuyos objetivos son obtener mejores procedimientos de diseño y proponer modalidades de refuerzo que den lugar a un comportamiento sísmico más satisfactorio para muros de concreto en los que rigen los efectos de la fuerza cortante.

Se comentan los resultados de una primera parte del programa en la que se ensayaron 12 muros de microconcreto sujetos a cargas alternadas, estudiando el efecto de la presencia de columnas y muros transversales en los extremos y del número de losas que cruzan el muro, para dos relaciones altura a longitud de los especímenes.

Se observó que el comportamiento fue en general poco dúctil y con gran deterioro ante la repetición de cargas, siendo poco importante el efecto en dicho comportamiento de los elementos verticales y horizontales que rigidizan el muro.

Otras series de ensayos están en desarrollo para estudiar el efecto de otras variables y formas de refuerzo.

* Instituto de Ingeniería, UNAM.

DISEÑO SISMICO DE MUROS DE CONCRETO
RESULTADOS DE LA PRIMERA ETAPA DE UN ESTUDIO EXPERIMENTAL

O. Hernández B.
R. Meli

1. Alcance

El comportamiento sísmico de estructuras con muros de concreto es más complejo y menos conocido que el de estructuras a base de marcos. El análisis sísmico es más laborioso y los procedimientos para la predicción de la resistencia y de la ductilidad menos precisos. Los estudios sobre el comportamiento estructural de muros son mucho más escasos que los de vigas y columnas, a pesar del empleo generalizado de estos muros para rigidizar y tomar fuerzas laterales en edificios.

En el Instituto de Ingeniería se está llevando a cabo un programa de investigación para estudiar los aspectos menos claros del comportamiento sísmico de muros de concreto. Los antecedentes de este programa pueden encontrarse en la ref 1, en la que se realizó un análisis de la información existente sobre el tema a partir del cual se

identificaron diversas lagunas en el conocimiento y se definieron los lineamientos esenciales de la investigación a realizarse.

El objetivo principal del programa de investigación es obtener las características de ductilidad y disipación de energía de los muros cuando predomina la falla por cortante, analizando el efecto en dichas características de la relación momento flexionante a fuerza cortante en la sección crítica, de la carga axial en el muro, de la cantidad y disposición del refuerzo y de la estructuración del muro. La estructuración se refiere a la disposición de elementos estructurales que refuerzan o confinan el muro, como columnas o muros transversales en sus extremos, o losas de piso que cruzan el muro en su altura.

La parte principal del estudio lo constituye un programa de ensayos ante cargas alternadas repetidas de modelos de microconcreto que reproducen, a escala aproximadamente de 1 a 8, muros de dimensiones usuales. La validez de los resultados en modelos de microconcreto para reproducir el comportamiento de elementos a escala natural ha sido demostrada en una serie de ensayos comparativos realizados para distintas condiciones de falla. Estos resultados, junto con la descripción de las técnicas empleadas para la construcción de los modelos, se encuentran en la ref 2.

Paralelamente al programa experimental se realizan estudios para desarrollar modelos analíticos que permitan representar el

comportamiento observado y generalizar los resultados.

Este informe preliminar contiene los resultados de la primera etapa, la cual incluye el ensaye de 12 especímenes en los que se estudió principalmente el comportamiento de muros con dos relaciones altura a longitud (2 y 0.5) al variar el tamaño y refuerzo de los elementos confinantes en los extremos del muro y el número de losas de piso que cruzaban el muro en su altura.

2. Descripción de los especímenes

Los especímenes ensayados reproducían a escala 1 a 8 un muro de 2 m de longitud y de 20 cm de espesor con una altura de 4 m para los especímenes altos ($H/L = 2$) y de 1 m para los bajos ($H/L = 0.5$).

Los materiales para los modelos se diseñaron de acuerdo con los procedimientos desarrollados en la ref 2. El mortero para microconcreto se dosificó para una resistencia nominal de 300 kg/cm^2 y el refuerzo se obtuvo a partir de alambres comerciales sometidos a recocido para que presentaran una fluencia definida a un esfuerzo de aproximadamente 3000 kg/cm^2 . Las corrugaciones para proporcionar la adherencia se lograron al someter los alambres a un "moleteado" (proceso de grabado al pasar a través de un dado).

Los muros se desplantaron sobre una base rígida y muy reforzada.

En el extremo superior de los muros se reprodujo un tramo de losa de piso a través del cuál se aplicaba la carga lateral.

La fig 1 muestra un armado típico y en la fig 2 se aprecia la colocación del refuerzo en la cimbra.

La fig 3 muestra las características principales de los distintos especímenes ensayados. Las propiedades de los mismos se consignan en la tabla 1.

El refuerzo vertical y horizontal en los muros fue en todos los casos formado por alambres # 13 con esfuerzo de fluencia de 3100 kg/cm^2 separados 5 cm, dando lugar a una cuantía de refuerzo de 0.0035 en ambas direcciones.

El muro 1 solo contaba con el refuerzo uniformemente distribuido que se acaba de describir; el resto de los especímenes tenía un refuerzo vertical adicional en los extremos para evitar la falla por flexión.

Este refuerzo estaba constituido por alambres estirados en frío y corrugados (TEC-60) de 3/16 pulg de diámetro y con esfuerzo de fluencia nominal de 6000 kg/cm^2 . Se colocaron 8 alambres en cada extremo del muro. La fig 4 muestra la disposición del refuerzo vertical en los muros. En todos los casos el refuerzo en los extremos del muro sólo tenía estribos de alambre que fijaban la posición de las barras verticales, pero no proporcionaban confinamiento ni resistencia a cortante.

3. Procedimiento de ensaye

Para el ensaye, el muro se colocaba en un marco de acero. La carga horizontal se aplicaba con un gato de doble acción al que estaba acoplada una celda de carga; este dispositivo trasmitía la carga al muro mediante un sistema de barras y placas que distribuían uniformemente la carga sobre la losa.

La carga vertical se trasmitía mediante un par de resortes que producían un esfuerzo axial aproximadamente uniforme en el muro. Este esfuerzo axial fue el mismo en todos los ensayos y su valor fue de 22 kg/cm^2 , lo que equivale aproximadamente a 7 por ciento de la resistencia del concreto utilizado. El dispositivo de carga se muestra en la fig 5.

Los desplazamientos laterales del muro se midieron mediante micrómetros de carátula de 0.01 mm de aproximación, colocados al nivel de la losa superior. Para detectar posibles deslizamientos o giros en la base había micrómetros también a ese nivel, (fig 5).

La secuencia de carga en los ensayos fue igual para todos los especímenes; primero se aplicaba la carga vertical, después se daban ciclos de carga lateral hasta una deformación prefijada; el número de ciclos para cada nivel de deformación fue el necesario para obtener curvas de histéresis estables en ciclos sucesivos; generalmente esto se obtenía con tres ciclos. La deformación máxima en cada ciclo se aumentaba progresivamente hasta llegar a la destrucción del espécimen.

4. Descripción del comportamiento observado

4.1 Muros con relación de aspecto (H/L) igual a 2.

En la fig 6 se muestran las configuraciones de agrietamiento de los muros con relación altura a longitud de 2 y en las figs 7 a 13 se aprecian las curvas carga-deformación registradas en los ciclos de carga lateral; para mayor claridad sólo se presentan los ciclos finales para cada deformación prefijada y algunos de los ciclos iniciales.

El muro 1, donde sólo se colocó el refuerzo vertical y horizontal uniforme y que no tenía refuerzo adicional en los extremos, tuvo una falla neta de flexión sin agrietamiento diagonal. La falla de este muro fue dúctil y se alcanzó la fluencia del refuerzo longitudinal en casi toda la sección; la falla se obtuvo después de la rotura de las barras extremas en tensión, por aplastamiento del concreto y pandeo del acero de refuerzo en el extremo de compresión. Las curvas histeréticas que aparecen en la fig 7 muestran que se alcanzaron deformaciones angulares de 0.03 sin disminución de la capacidad de carga; la disipación de energía en cada ciclo fue alta y el deterioro de resistencia y rigidez pequeño, aún para deformaciones muy grandes.

El muro 2 fue idéntico al muro 1 solo que con refuerzo suficiente para evitar la falla por flexión. Se presentó una falla frágil, por cortante, al aparecer una grieta diagonal repentina a lo largo de todo el

muro como se muestra en la fig 6. La resistencia fue casi tres veces la del muro 1 y la rigidez fue también mayor. La parte inferior de los extremos del muro resultó muy deteriorada al final del ensaye, por la ausencia de refuerzo transversal que confinara al refuerzo longitudinal. El muro alcanzó una deformación angular máxima de 0.025 antes de la falla y, hasta esa deformación, los ciclos histeréticos mostraron poco deterioro de resistencia; sin embargo el área incluida en los ciclos fue pequeña y con la forma típica de la falla de cortante en que la rama ascendente tiene una pendiente que crece continuamente (fig 8).

En el muro 3 el refuerzo vertical estaba colocado en columnas relativamente robustas (4 x 5.5 cm). El comportamiento fue parecido al del muro 2; la resistencia fue semejante, pero la rigidez del muro 3 fue 2.5 veces mayor y la deformación a la falla fue aproximadamente el doble de la alcanzada en el 2. Aparecieron muchas grietas horizontales en ambas columnas del muro y la base sufrió mucho daño.

En la fig 6 se observa que el agrietamiento final del muro 3 fue muy parecido al del muro 2. El comportamiento histerético fue semejante excepto que el muro 3 alcanzó deformaciones mayores de las soportadas por el muro 2.

En el muro 4 el refuerzo extremo se colocó en "patines" que representaban porciones de muros transversales. En la mitad superior del

muro casi no se presentaron grietas; pero en la inferior, el agrietamiento fue semejante al del muro 3. Los patines proporcionaron rigidez y confinamiento al muro hasta que se separaron de él, para una deformación de aproximadamente 0.01. La resistencia y rigidez fueron semejantes a la del muro 2; el comportamiento histerético fue inferior al del muro 3 y parecido al del 2 ya que después de la separación de los muros transversales, la parte inferior de estos se dañó en forma importante y el muro perdió rápidamente resistencia y capacidad de carga.

El muro 6 fue semejante al muro 4 solo que la sección de los muros transversales fue menor. El comportamiento fue semejante al del muro 4, pero hubo un menor número de grietas, y las pocas que se presentaron, fueron en la mitad inferior. La separación prematura de los patines provocó pérdida de capacidad para deformaciones inferiores a las del muro 4. Lo anterior confirma que debe existir un diseño cuidadoso de la unión entre muros, ya que, de no ser así, se perderá la contribución de los muros transversales a la resistencia y rigidez, cuando estos se separen, como se muestra en la fig 14.

El muro 5 tenía la misma sección y refuerzo que el muro 2, pero con una losa intermedia de las mismas características que la losa superior. En la etapa inicial fue un poco menos deformable que el muro 2 y tuvo un agrietamiento casi independiente en los dos niveles; hubo un gran número de grietas que no se continuaban de uno a otro nivel por la

presencia de la losa; a la falla solo unas cuantas grietas pasaban a través de la losa intermedia. En cuanto a capacidad de deformación y deterioro, el comportamiento de este muro fue similar que el del muro 2. La base de este muro resultó muy dañada.

También el muro 7 tenía una losa intermedia pero de espesor menor (1.5 cm en lugar de 2.5 cm). Su resistencia fue similar a la del muro 5, pero fue más deformable y tuvo menor agrietamiento. También en este muro las grietas fueron independientes entre un nivel y otro. En la fig 6 se puede observar que al final del ensaye los extremos del muro sufrieron bastante daño, por falta de un confinamiento adecuado para el refuerzo longitudinal.

En el muro 8 se colocaron dos losas intermedias, con espesor de 1.5 cm. Tuvo mayor rigidez que los muros 5 y 7 pero su resistencia fue muy similar a la de estos. Como se muestra en la fig 6, se agrietó severamente en todos los niveles, sin que hubiera continuidad en las grietas de uno a otro nivel. Los extremos del muro en la parte inferior sufrieron un gran deterioro. El comportamiento histerético resultó muy parecido al del muro 5. La falla ocurrió en este caso en el entrepiso superior, por lo cual posteriormente se aplicó carga lateral en la losa siguiente y finalmente en la losa inferior, determinando la resistencia del muro para las tres relaciones de aspecto resultantes ($H/L = 2, 1.3$ y 0.5).

4.2 Muros con relación de aspecto (H/L) igual a 0.5

La configuración de agrietamiento de estos muros se muestra en la fig 15 y las curvas histeréticas en las figs 16 a 19.

El muro 9 fue idéntico al muro 6 en cuanto a sección transversal, pero con una altura menor. Se observa que el muro sufrió un deterioro casi total ante la repetición de ciclos con deformaciones relativamente pequeñas. Al igual que el muro 6, los patines se separaron prematuramente del muro. La resistencia y rigidez fueron mucho mayores que en los muros anteriores debido a la menor relación de aspecto.

El muro 10 fue idéntico al 8, o sea con una relación de aspecto de 2, dos losas intermedias y sin columnas o patines en los extremos. Este espécimen se ensayó aplicando la carga en la losa inferior, de manera que la relación flexión a cortante en el tablero inferior fue la misma que en los especímenes con relación de aspecto de 0.5. El comportamiento fue totalmente similar al del muro 9 observándose un deterioro muy pronunciado.

En el muro 11, la sección transversal fue la misma que la del muro 3, o sea con columnas en los extremos. Tuvo una resistencia comparable a la de los muros 9 y 10 y una rigidez ligeramente mayor. Ante la repetición de cargas, el concreto en la parte central del muro se fue desmoronando y las columnas sufrieron gran deterioro; en la fig 20 se

muestra el aspecto del muro después de la prueba.

El muro 12 no tenía ningún elemento de refuerzo en los extremos. Tuvo un mayor número de grietas que el muro 11 y sus extremos se deterioraron notablemente para deformaciones grandes. La resistencia de este muro fue similar a la de los anteriores, pero la rigidez fue menor.

5. Interpretación de resultados

La tabla 1 resume los resultados de los 12 muros ensayados en cuanto a resistencia, rigidez y capacidad de deformación.

Se consignan tanto los esfuerzos cortantes promedio en el muro como las deformaciones angulares para tres etapas de comportamiento: cuando apareció la primera grieta inclinada en el alma del espécimen; cuando se alcanzó la máxima carga que se pudo aplicar al muro y cuando se alcanzó la carga máxima que el muro fue capaz de sostener en ciclos histeréticos estables. La carga correspondiente a una deformación dada disminuía de un ciclo al siguiente hasta que se estabilizaba, generalmente en el tercer ciclo; considerando únicamente los ciclos histeréticos ya estabilizados se identificó la carga máxima sostenida. Los tres niveles de carga y de deformación se identifican en las curvas carga deformación de la fig 21.

El esfuerzo cortante promedio se obtuvo dividiendo la fuerza lateral aplicada entre el área del muro, ignorando las columnas o patines de los extremos; o sea $v = V/bL$, siendo b el espesor y L la longitud total del espécimen. La deformación angular se calculó dividiendo el desplazamiento lateral del extremo superior entre la altura del muro.

Del análisis de los resultados de la tabla 1 se deduce que los esfuerzos cortantes resistentes para los tres niveles de agrietamiento fueron aproximadamente constantes para una misma relación de aspecto y que la estructuración del muro no tuvo influencia en ninguno de los tres niveles de resistencia. Se excluye, naturalmente, el muro 1 cuya falla fue debida a flexión y cuya resistencia se predice con buena aproximación con la teoría usual de flexión para concreto.

La relación $v_{\text{máx}}/\sqrt{f'_c}$ resultó en promedio 1.5 para los muros con $H/L = 2$ y 2.6 para los de $H/L = 0.5$. La resistencia sostenida fue en promedio del 85% de la máxima.

La resistencia obtenida fue en todos los casos superior a la que se calcula con los procedimientos recomendados por el Código ACI 71 o con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1976.

La rigidez inicial consignada en la tabla 1 corresponde a la secante a la curva inicial entre el origen y el punto correspondiente a una carga del 15% de la máxima. Se aprecia como los valores de este

parámetro resultan irregulares, a pesar de lo cual es evidente el incremento apreciable de la rigidez cuando los muros tienen elementos extremos o losas intermedias. También es apreciable la diferencia entre la rigidez de muros cortos y la de los muros altos.

Las deformaciones correspondientes al agrietamiento diagonal fueron muy irregulares (0.005 en promedio), mientras que a la carga máxima la deformación angular fue más uniforme para una misma relación de aspecto, (0.027 para $H/L = 2$ y 0.014 para $H/L = 0.5$) sin que se aprecie influencia de alguna de las otras variables en el estudio.

En lo que respecta al comportamiento histerético y al deterioro, es evidente de la inspección de las curvas carga-deformación medidas, que en todos los casos en que la falla fue por cortante, se tuvo un comportamiento poco favorable. Para deformaciones que excedían al agrietamiento diagonal las curvas tenían la forma típica (de huso, "spindle shaped") de los elementos con falla por cortante, caracterizada por una rama ascendente con pendiente que crece continuamente y por una rama descendente aproximadamente paralela a la ascendente, encerrando un área relativamente pequeña que equivale a un amortiguamiento histerético muy bajo.

En un intento inicial de establecer un parámetro que midiera la capacidad de disipación de energía de los muros, se definió un factor de

ductilidad equivalente, Q , como la relación de áreas bajo la curva histérica obtenida experimentalmente para la carga máxima sostenida y la que se obtiene suponiendo que el muro tiene un comportamiento lineal hasta la carga máxima con la rigidez inicial del espécimen. La obtención del parámetro se ilustra en la fig 21 y los valores calculados se consignan en la tabla 1. Se aprecia cómo dicho factor es mayor que 4 para el muro 1 con falla por flexión, y varía entre 1.5 y 3 para los muros con falla por cortante; en los muros con $H/L = 2$ los valores de Q fueron mayores cuando había elementos robustos en los extremos o losas intermedias; en los muros cortos se tuvo por lo general un valor de Q ligeramente mayor que en los largos similares, aunque esto se debe seguramente a que la forma en que se determinó el factor de ductilidad no es muy apropiada. No se aprecia influencia notable de la estructuración en el valor de Q .

6. Conclusiones preliminares

La resistencia en cortante de los muros puede predecirse en forma conservadora con los procedimientos actuales (ACI-71) y no se ve afectada por la estructuración de los mismos. Es posible, sin embargo mejorar la aproximación del cálculo con fórmulas que tomen en cuenta más racionalmente las variables que más influyen en la resistencia.

La rigidez inicial medida fue muy variable y conviene mejorar los

métodos de medición de deformaciones para obtener valores más confiables.

Los muros con falla por cortante tienen un comportamiento inelástico muy inadecuado desde el punto de vista sísmico, por el daño progresivo que sufren después del agrietamiento al repetirse ciclos de carga.

En los muros esbeltos esto puede evitarse dimensionando de manera que rija la falla de flexión; no así en los muros cortos en los que es difícil evitar que rija el cortante.

La eficiencia de los elementos de refuerzo en los extremos para mejorar el comportamiento más allá del intervalo inicial fue muy baja debido a la falta de refuerzo transversal de confinamiento y a la pobre liga de este con el alma del muro. Es posible, sin embargo que el comportamiento puede mejorarse si estos elementos se diseñan en forma adecuada.

7. Etapas siguientes del estudio

La siguiente etapa experimental comprenderá el ensaye de aproximadamente 10 muros adicionales en los que se variarán la cuantía de refuerzo en el alma del muro, el nivel de carga vertical y el confinamiento del refuerzo vertical en los extremos del muro por medio de refuerzo de estribos y espiral, con el fin de ver si se mejora el comportamiento histerético. La tabla 2 resume las características de los elementos

a ensayar.

En la parte analítica se tratarán de encontrar procedimientos más precisos de cálculo de la resistencia al corte, interpretando los resultados de esta y otras investigaciones.

El esfuerzo analítico mayor se dedicará al estudio de modelos de comportamiento histerético de los muros con el fin de determinar factores de reducción por ductilidad adecuados para la aplicación de los criterios de diseño sísmico del reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

REFERENCIAS

1. Meli, R. "Consideraciones sobre el diseño sísmico de estructuras con muros de concreto" Ingeniería Sísmica No 14 México D.F., 1976
2. Hernández B. Oscar, "Tecnología del microconcreto", Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe 380, México (oct 1976)
3. Barda F., Hanson J.M. y Corley W.G., "An investigation of the design and repair of low-rise shear walls" Proc. Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Roma (1973).
4. Cárdenas A.E., Hanson J.M. y Corley W.G., "Design provision for shear walls", ACI Journal, V70 No 3, (marzo 1973).
5. Fiorato A.E., Oesterle R.G., y Corley W.G., "Ductility of structural walls for design of earthquake resistant buildings", Proc. Sixth World Conference on Earthquake Engineering, 9-95, India (1977).
6. Paulay T., "Some aspects of shear wall design", Bulletin of New Zealand Soc. of Earth. Engineering, V5 No 3, (sept 1972).
7. Shiga T., Shibata A. y Takahashi J., "Experimental study on dynamic properties of reinforced concrete shear walls", Proc. Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Roma (1973).

TABLA 1 PROPIEDADES Y RESULTADOS MEDIDOS DEL ENSAYE DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO

MURO	f'_c kg/cm ²	AGRIETAMIENTO		MAXIMO		MAX. SOSTENIDO		RIGIDEZ kg/cm ² /rad	FACTOR DUCTILIDAD	H/L
		v	γ	v	γ	v	γ			
1	269	5.4	.0020	9.3	.028	8.8	.016		4.3	1.95
2	306	10.7	.0085	26.2	.029	23.8	.026	2400	1.6	1.95
3	280	11.9	.0034	26.4	.029	21.8	.024	6300	2.8	1.95
4	290	11.6	.0060	26.7	.025	23.1	.021	2800	1.7	1.95
5	305	9.9	.0025	29.2	.025	25.0	.020	4900	2.4	1.95
6	345	11.6		26.8*		24.1*				1.95
7	296	11.6	.0100	26.5	.039	22.3	.033	2800	1.9	1.95
8	292	11.6	.0036	27.0	.015	24.2	.015	4200	2.1	1.95
9	360	22.3*	.0034	46.1*	.010	41.6	.010	17800	2.3	0.50
10	378	22.4	.0045	55.1	.011	42.7	.011	19500	2.4	0.67
11	300	22.2	.0025	44.5	.014	37.0	.008	20000	2.1	0.50
12	280	22.0	.0055	44.0	.018	38.0	.018	7500	1.9	0.67

El porcentaje de refuerzo horizontal y vertical para cortante fue de 0.0035; el esfuerzo de fluencia de este acero fue 3100 kg/cm²

v esfuerzo cortante, en kg/cm²

γ deformación angular, en rad

* esfuerzos calculados sobre el área del alma, ya que los muros transversales se separaron antes del agrietamiento diagonal.

TABLA 2 VARIABLES A ESTUDIAR DURANTE LA SIGUIENTE ETAPA

Porcentaje de Acero	$\frac{H}{L}$	Esfuerzo Vertical kg/cm ²	ESTRUCTURACION
.0035	2	22	Columna interior con todos los requisitos que pide el Reglamento del D. D. F.
.0035	2	22	Columna cuadrada con los requerimientos del R. D. F.
.0035	2	22	Columna cuadrada con zuncho según R. D. F.
.0035	2	22	Algún refuerzo mejorado o donde se estudie como mejorar la liga con muros transversales
0.0065	2	22	La mejor solución de las anteriores
0.0090	2	22	La mejor solución de las anteriores
0.0035	2	60	La mejor solución de las anteriores
0.0035	0.5	22	La mejor solución de las anteriores
0.0090	0.5	22	La mejor solución de las anteriores
0.0035	0.5	60	La mejor solución de las anteriores
.009	1.0	22	La mejor solución de las anteriores

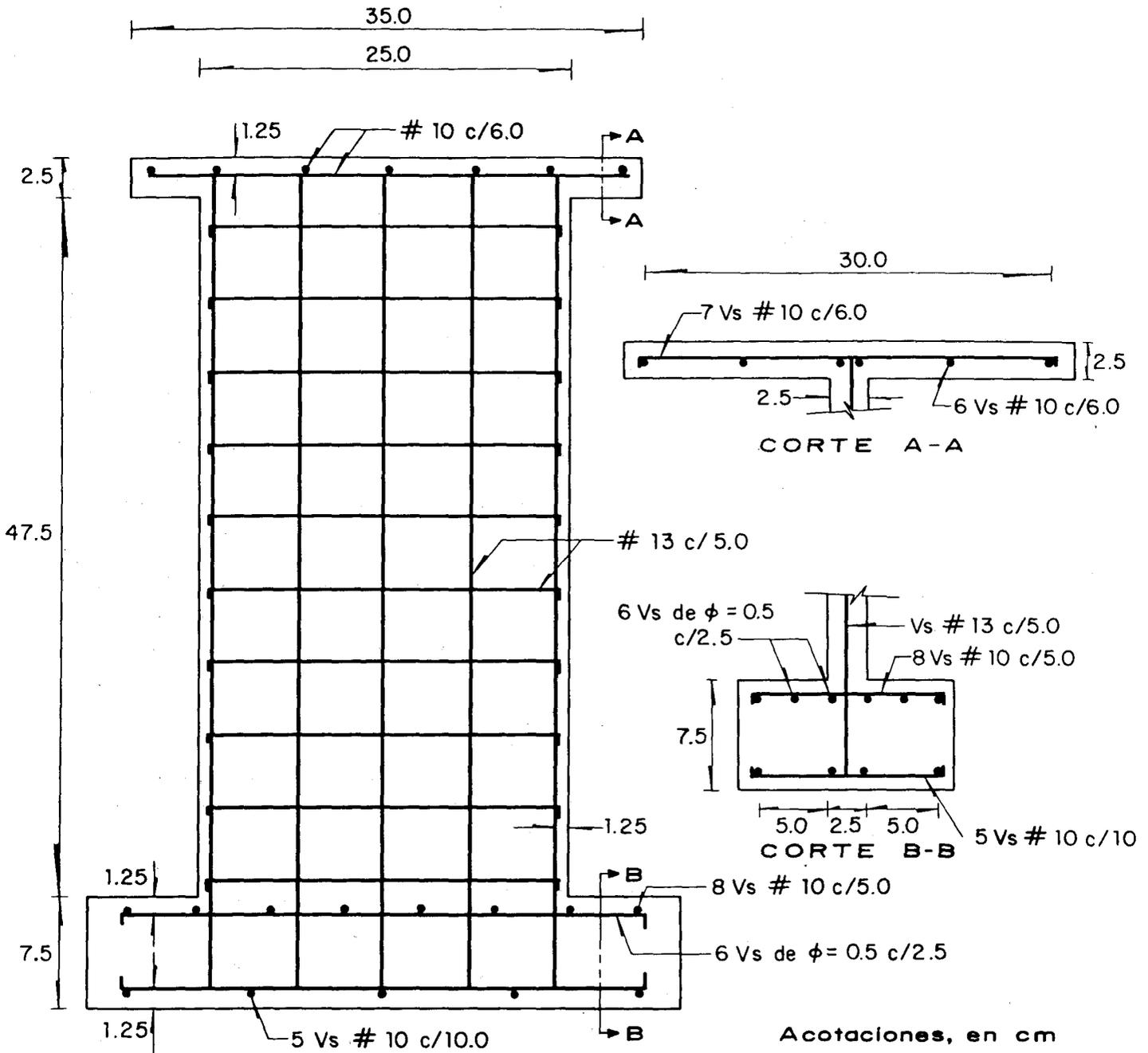


Fig 1. Características de un espécimen típico

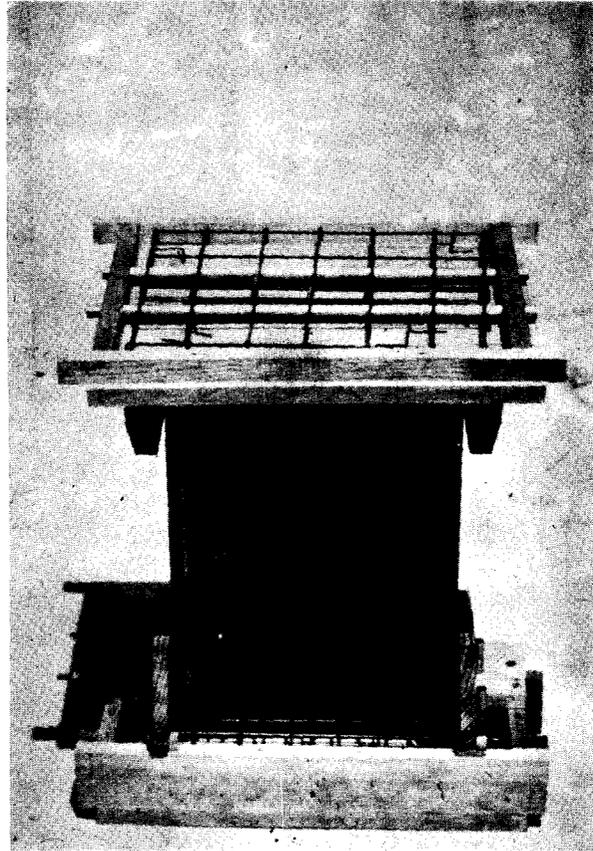
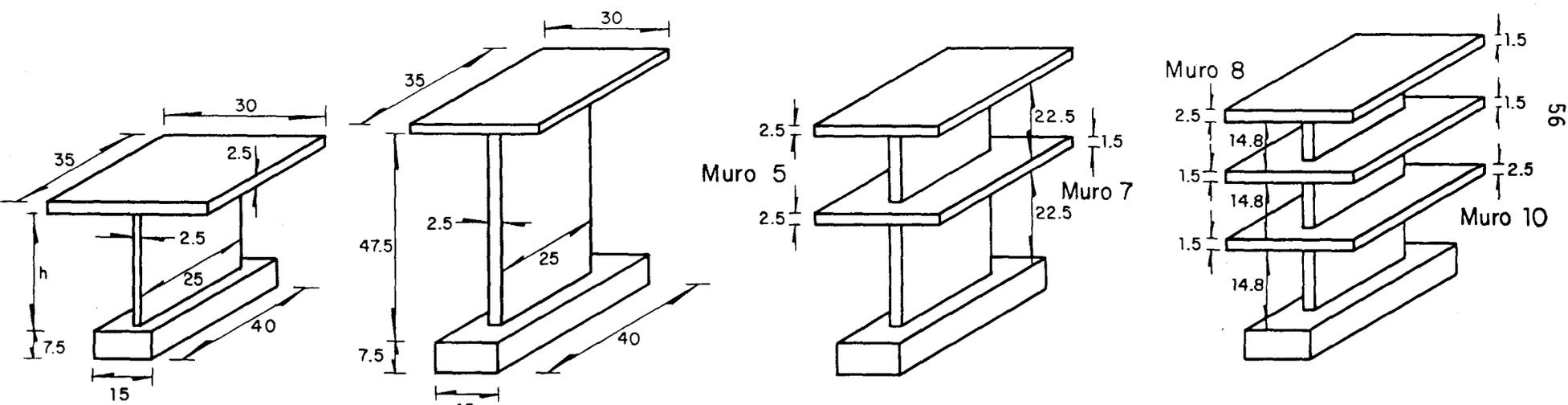
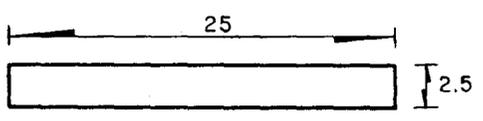


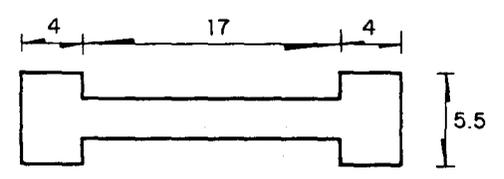
Fig 2 . Colocación del refuerzo en la cimbra



a) Alturas y losas intermedias

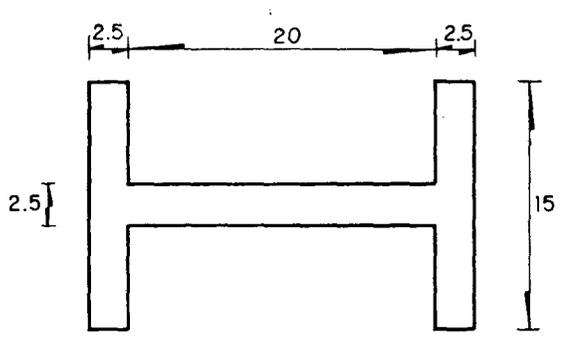


Muros 1, 2, 5, 7, 8, 10 y 12

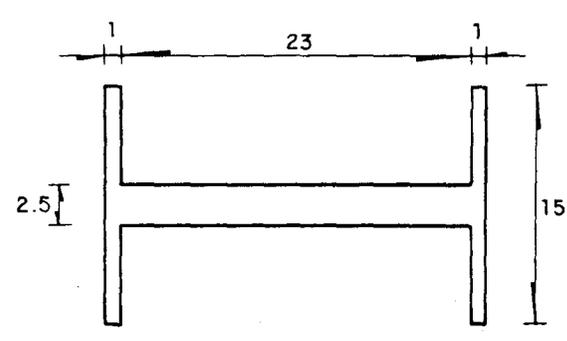


Muros 3 y 11

Acotaciones, en cm



Muro 4



Muros 6 y 9

b) Secciones transversales

Fig 3. Geometría de los especímenes

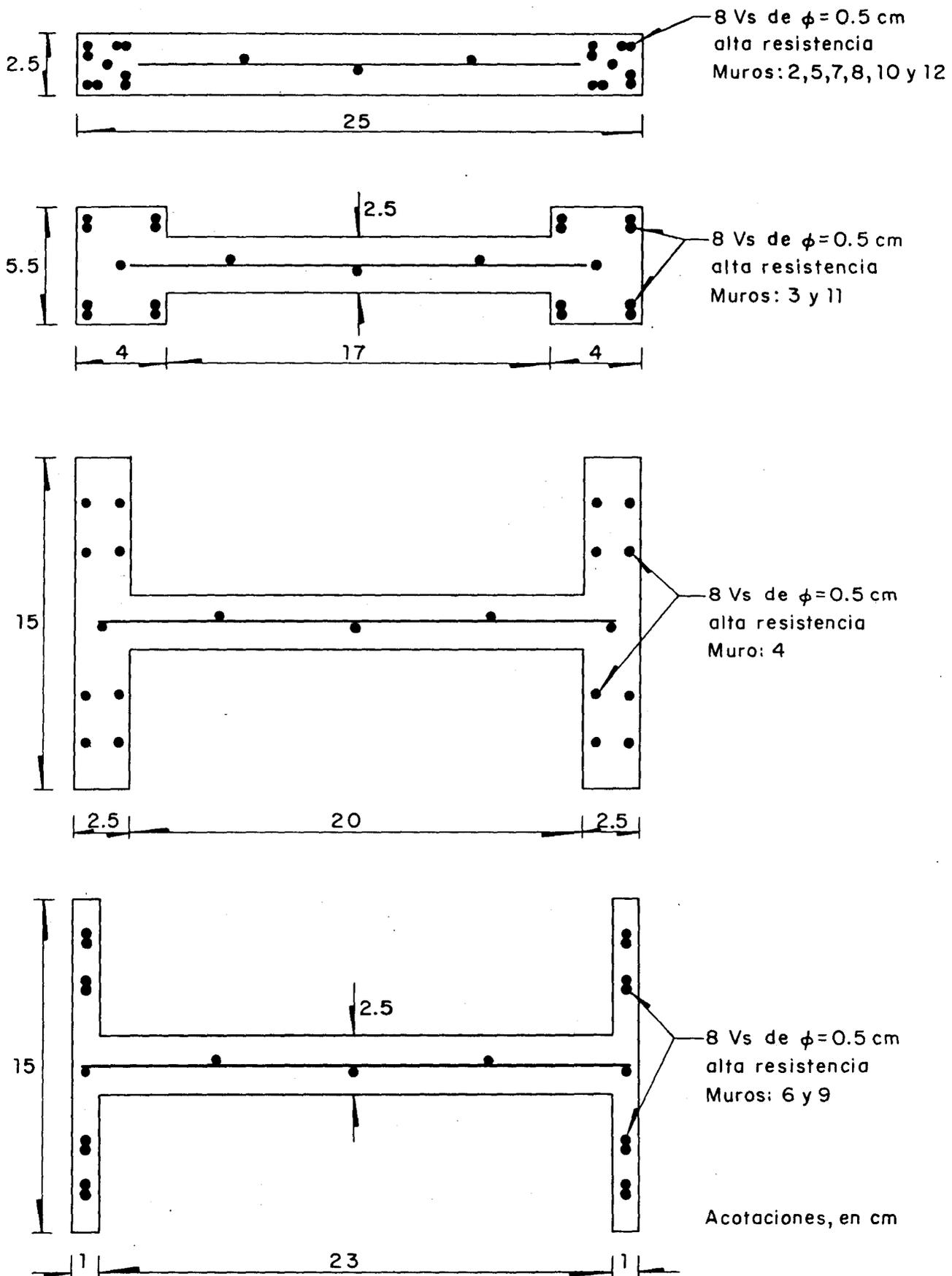


Fig 4. Detalle del refuerzo vertical en los modelos

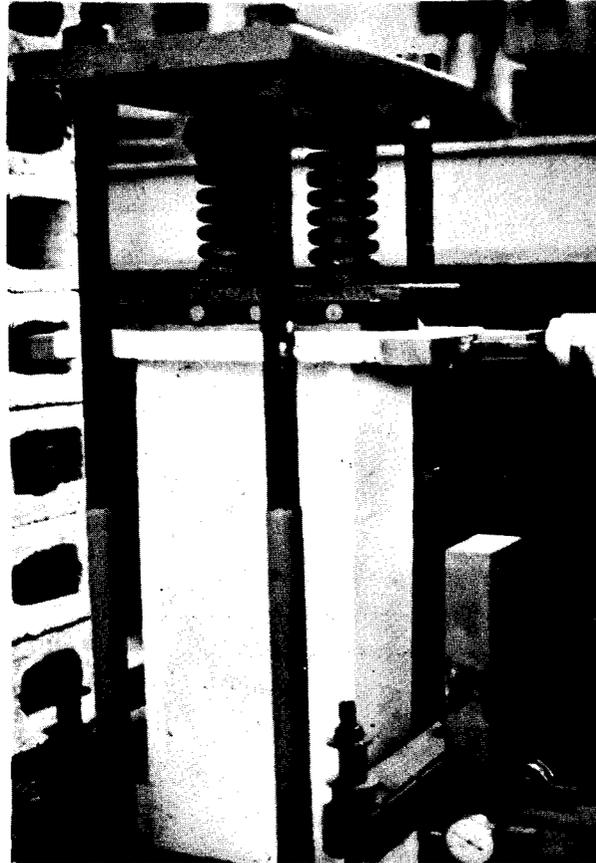


Fig 5. Dispositivo de ensaye (carga y medición)



Muro 2



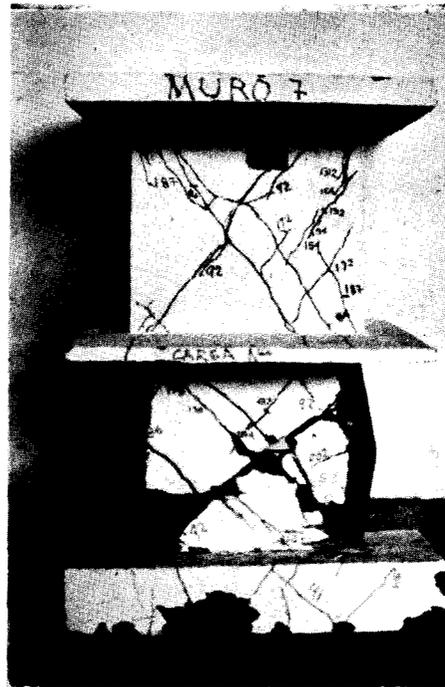
Muro 3



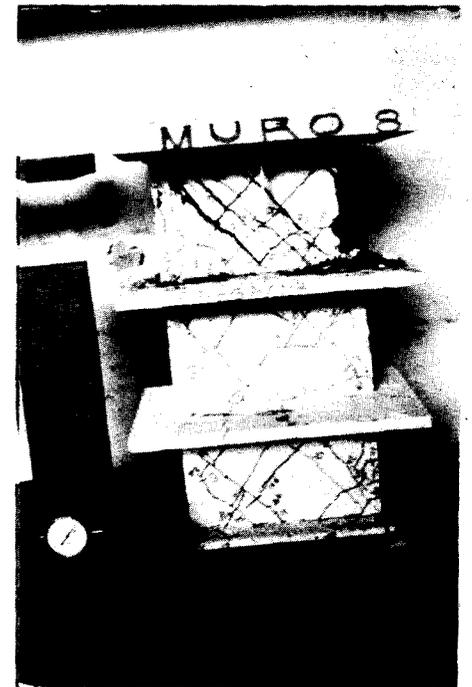
Muro 4



Muro 5



Muro 7



Muro 8

Fig 6 . Configuraciones de agrietamiento de los especímenes , con relación de aspecto (H/L) igual a 2

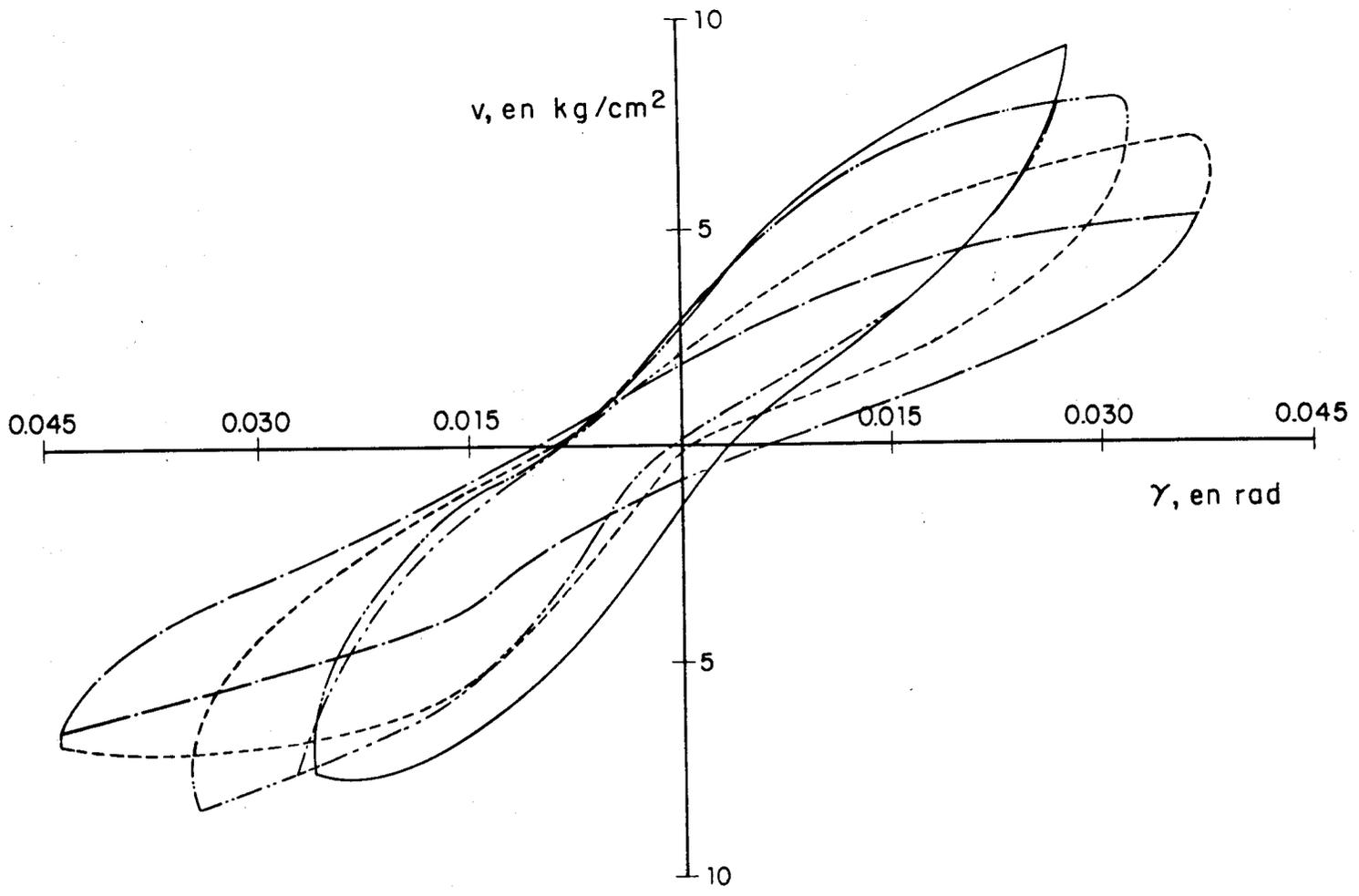


Fig 7. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 1 (después de agrietado)

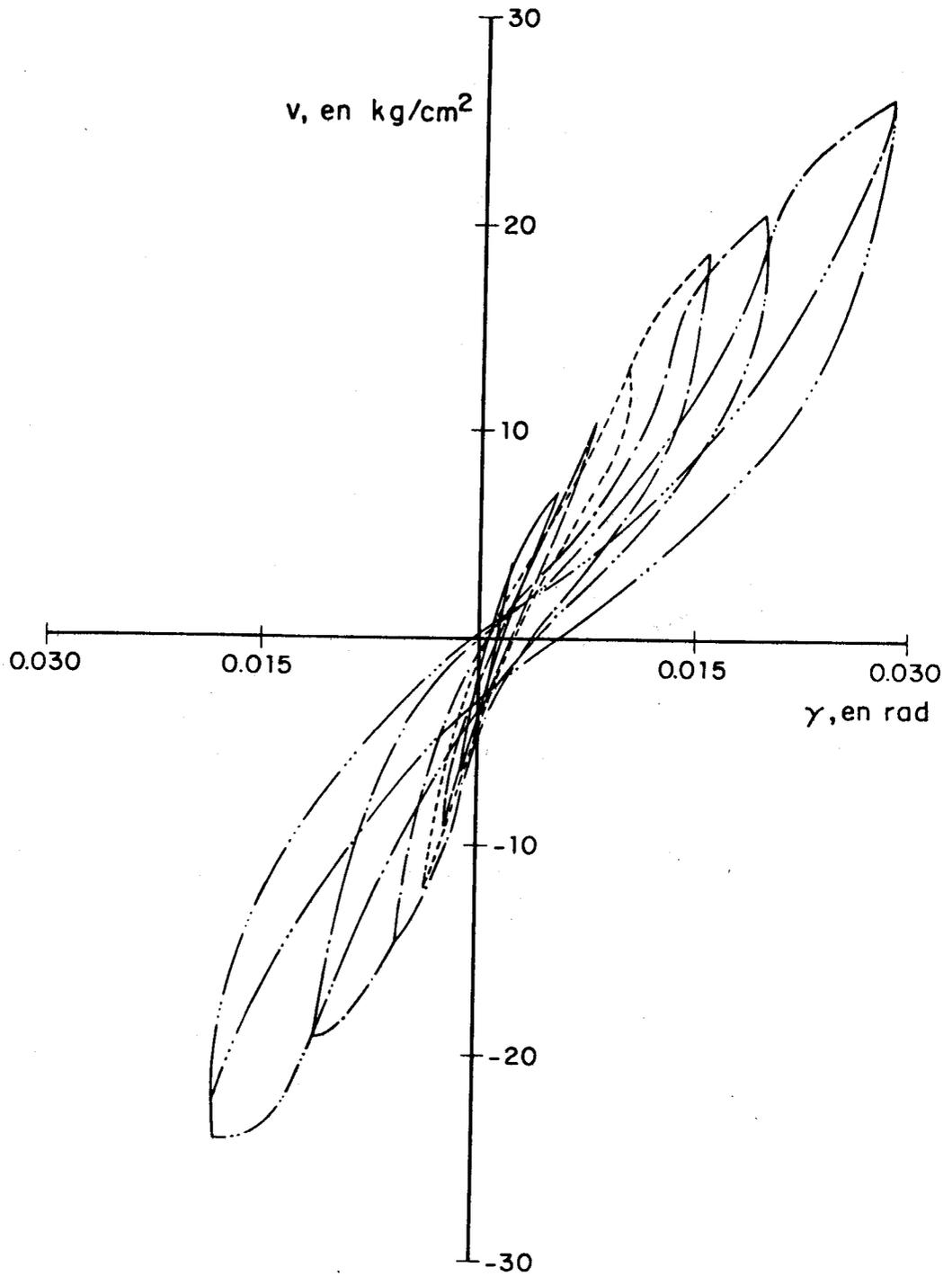


Fig 8. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 2

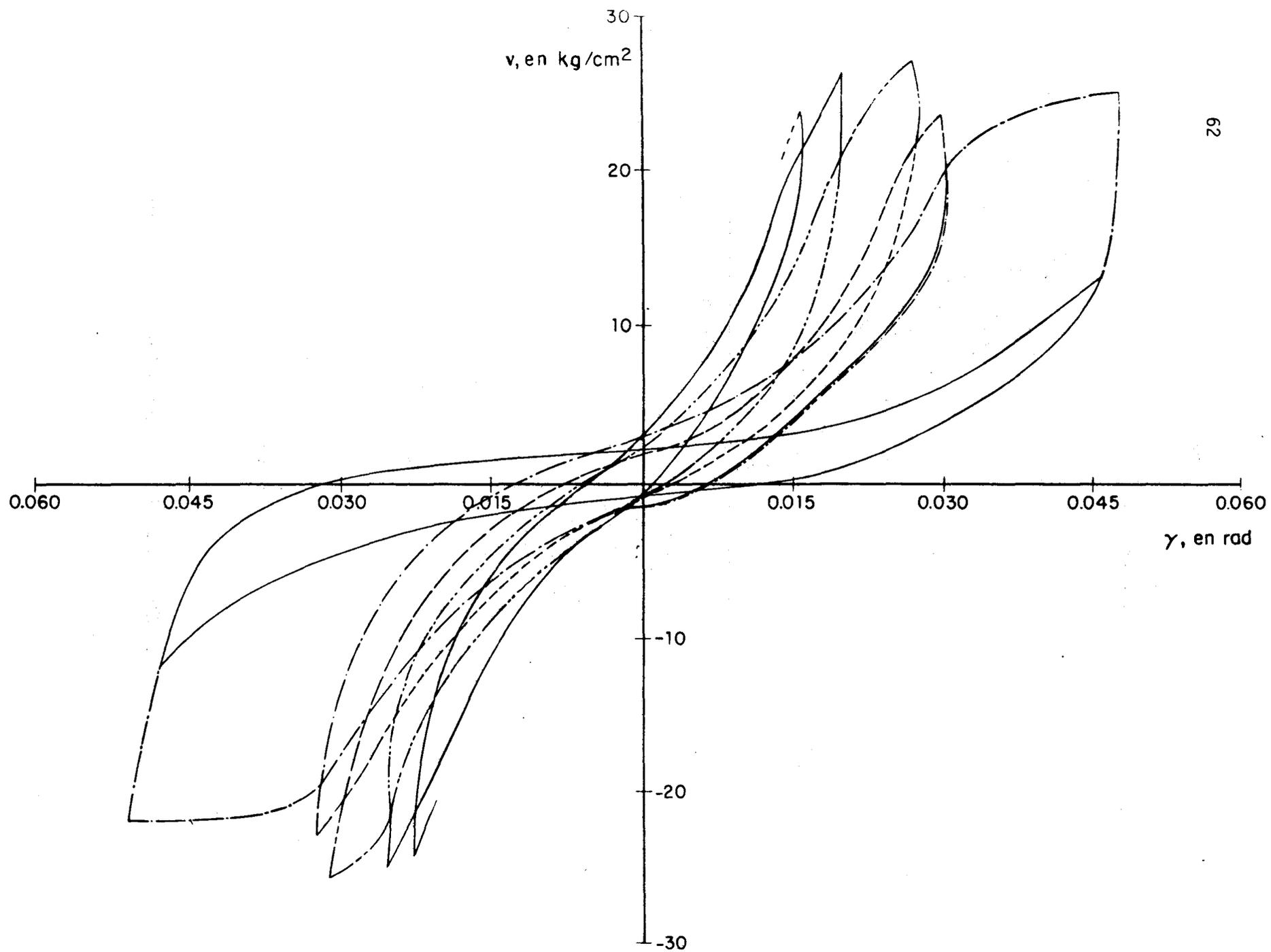


Fig 9. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 3 (después de agrietado)

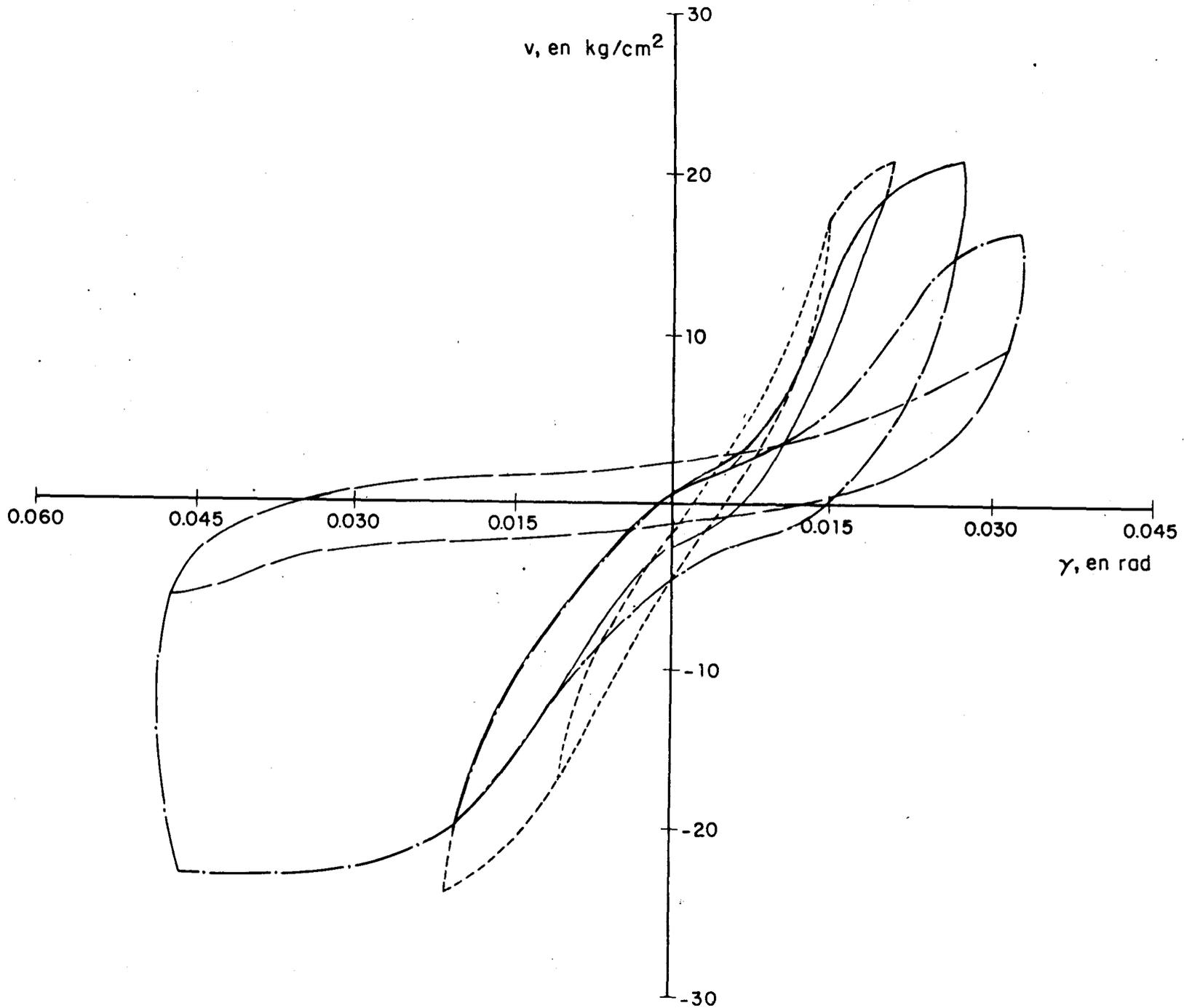


Fig 10. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 4 (después de agrietado)

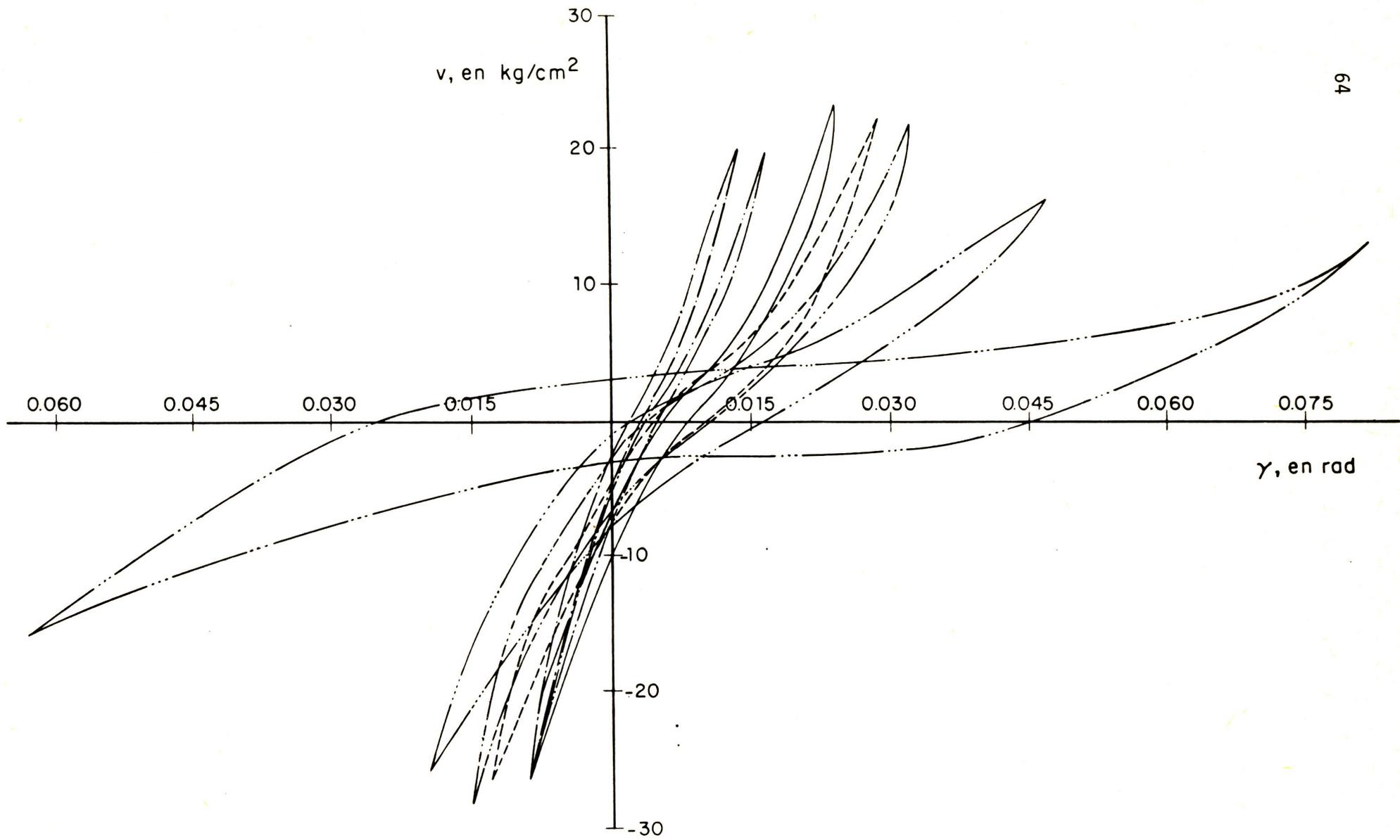


Fig 11. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 5 (después de agrietado)

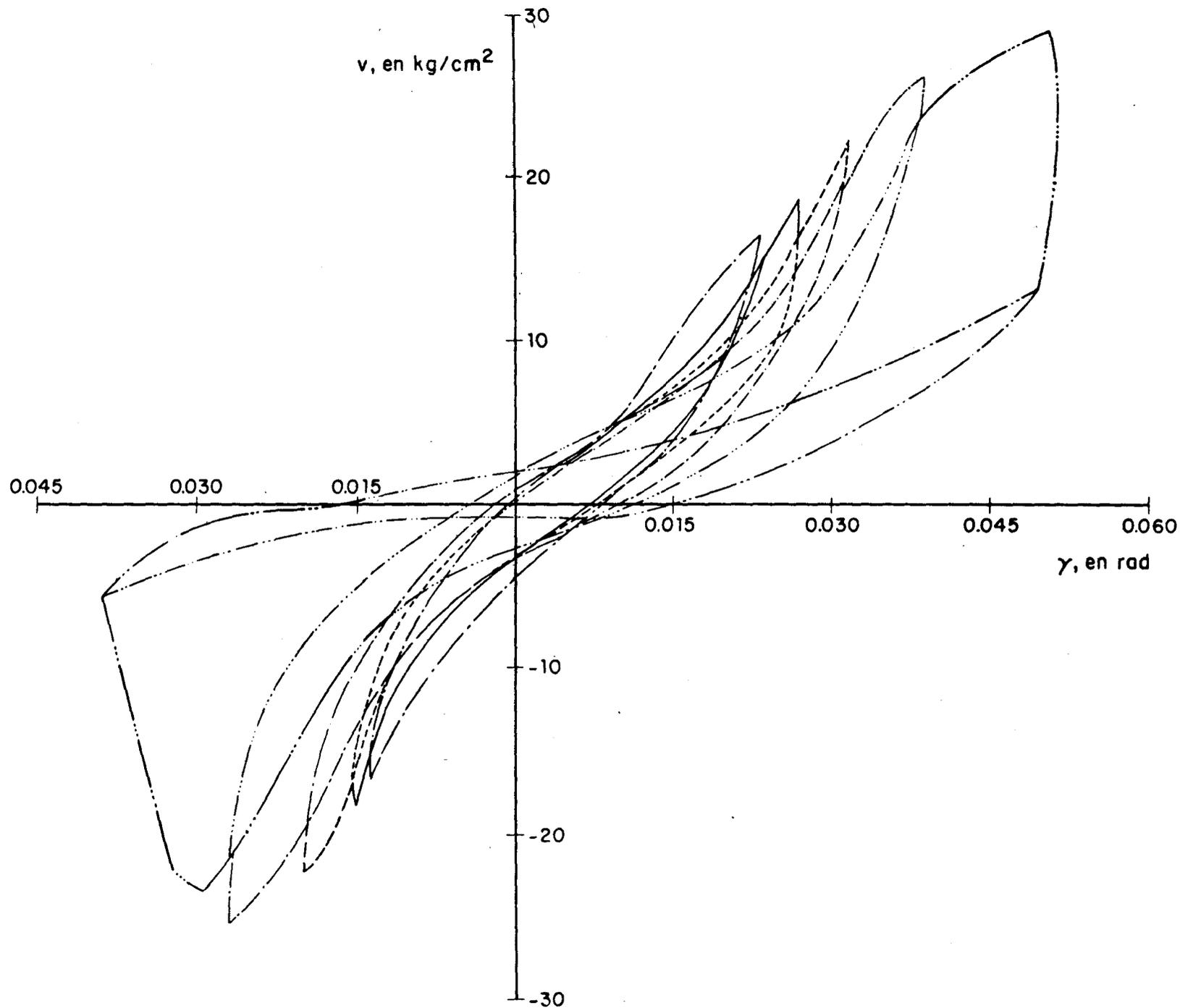


Fig 12. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 7
(después de arrietado)

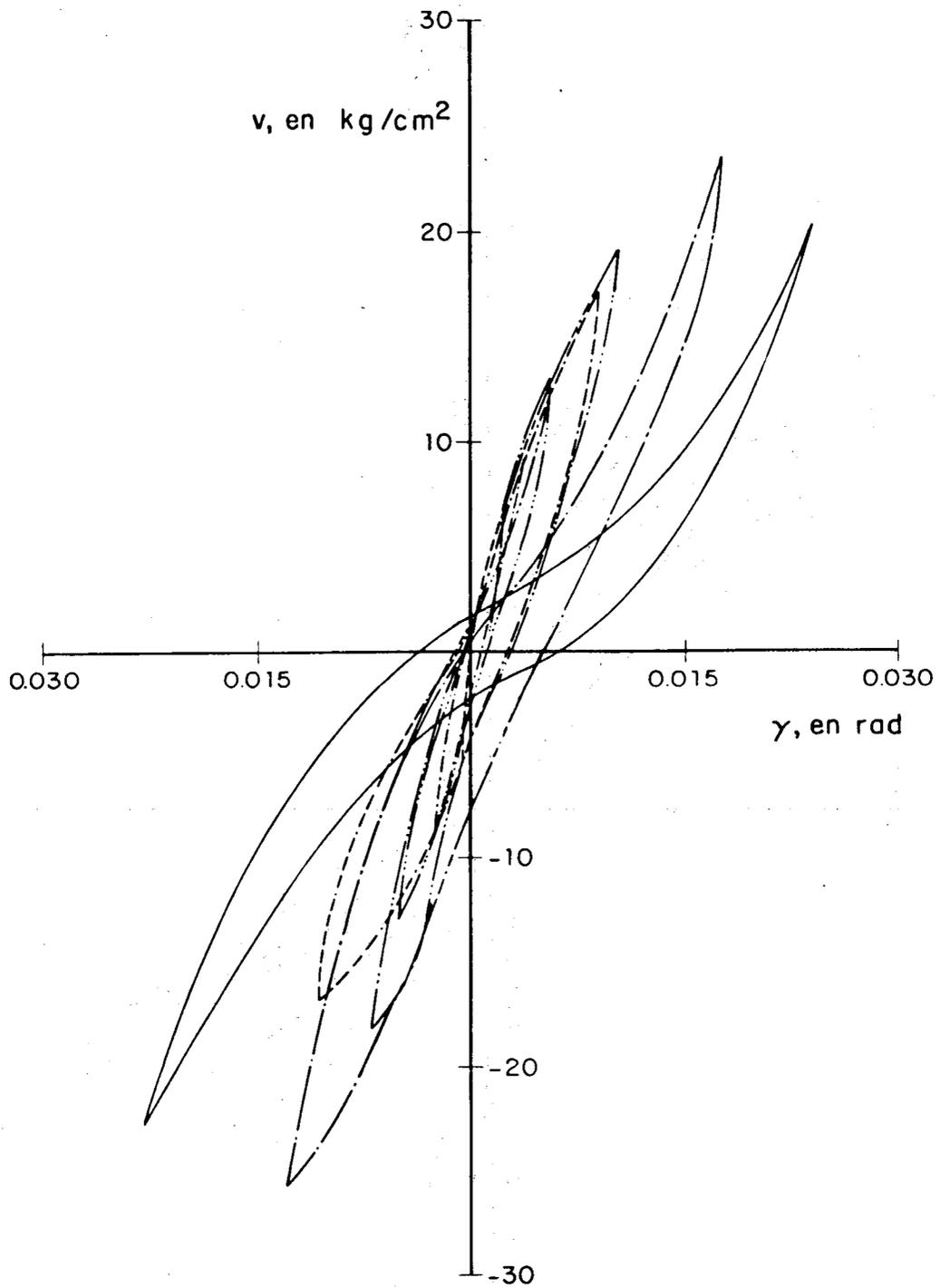


Fig 13. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 8

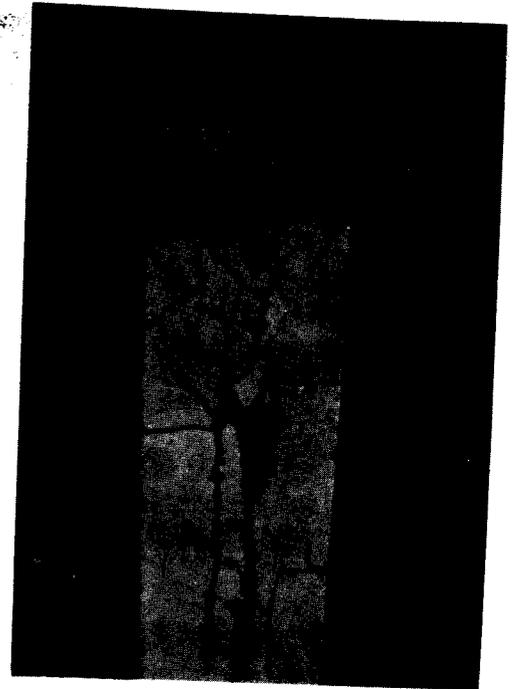
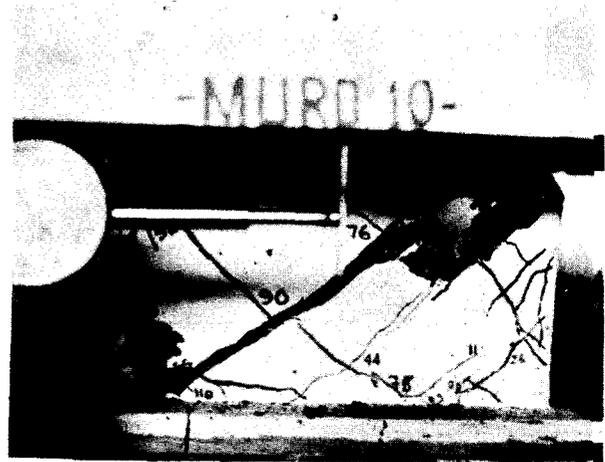


Fig 14. Separación entre el muro longitudinal y transversal



Muro 9



Muro 10



Muro 11



Muro 12

Fig 15. Configuraciones de agrietamiento para muros con relación de aspecto (H/L) igual a 0.5

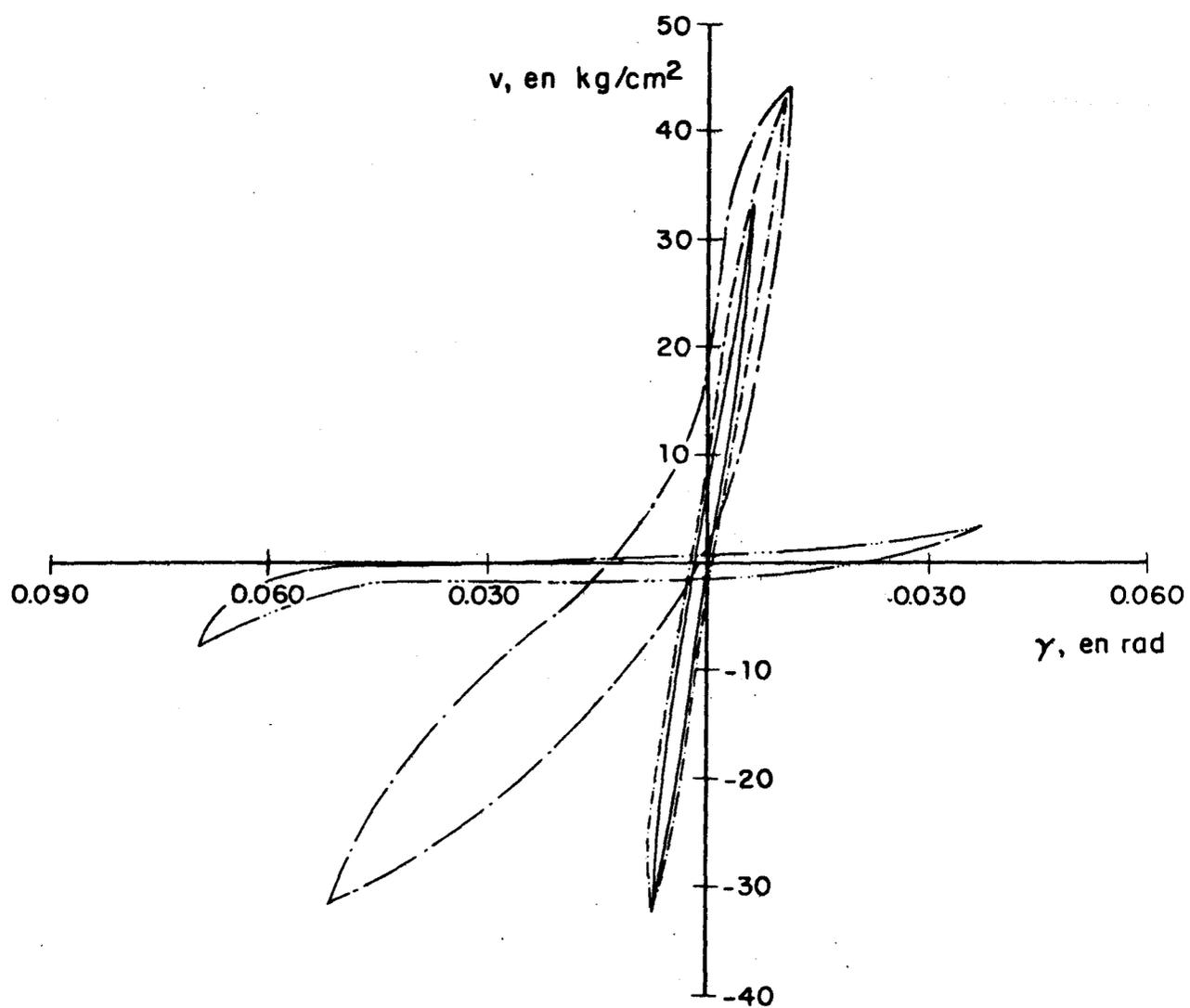


Fig 16. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 9

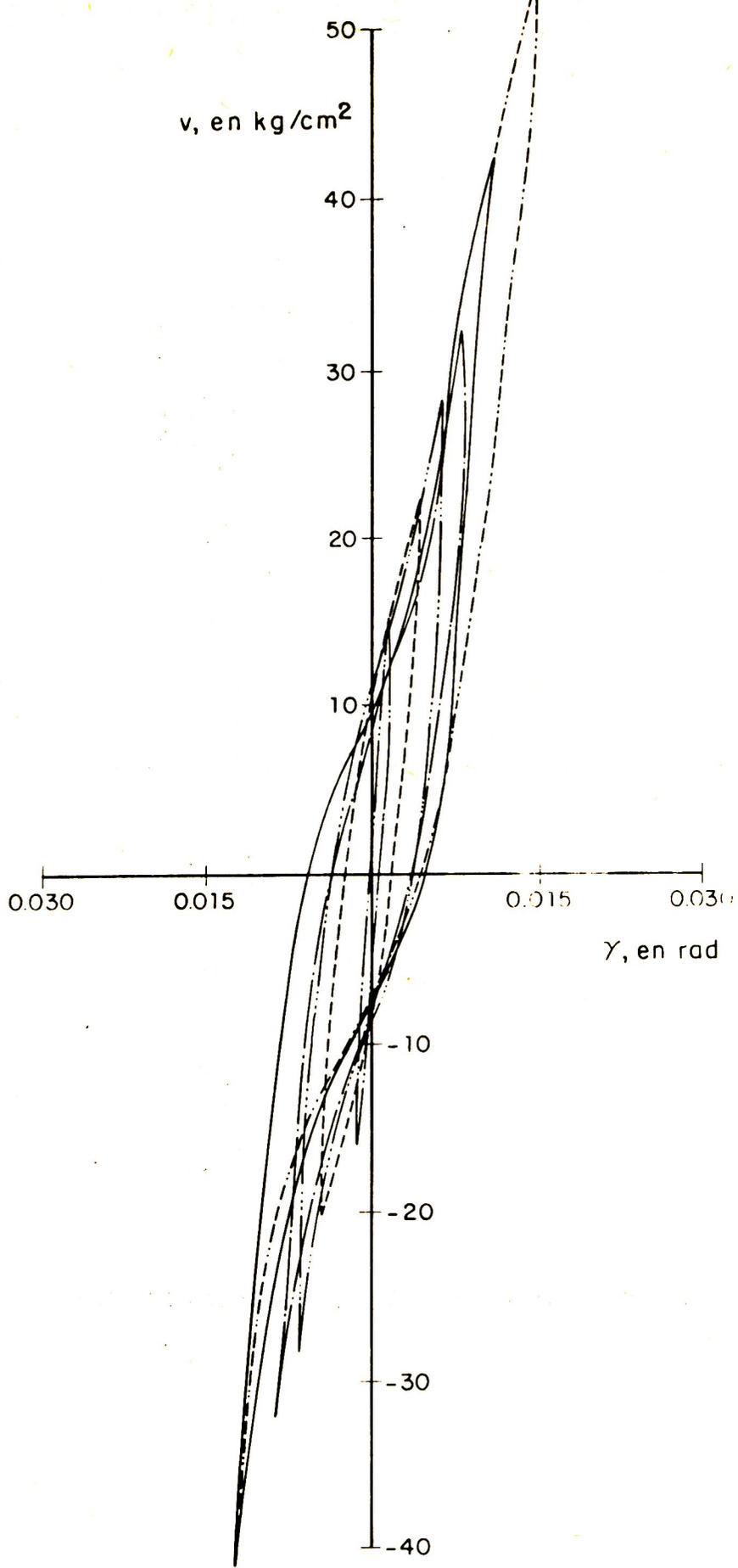


Fig 17. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 10

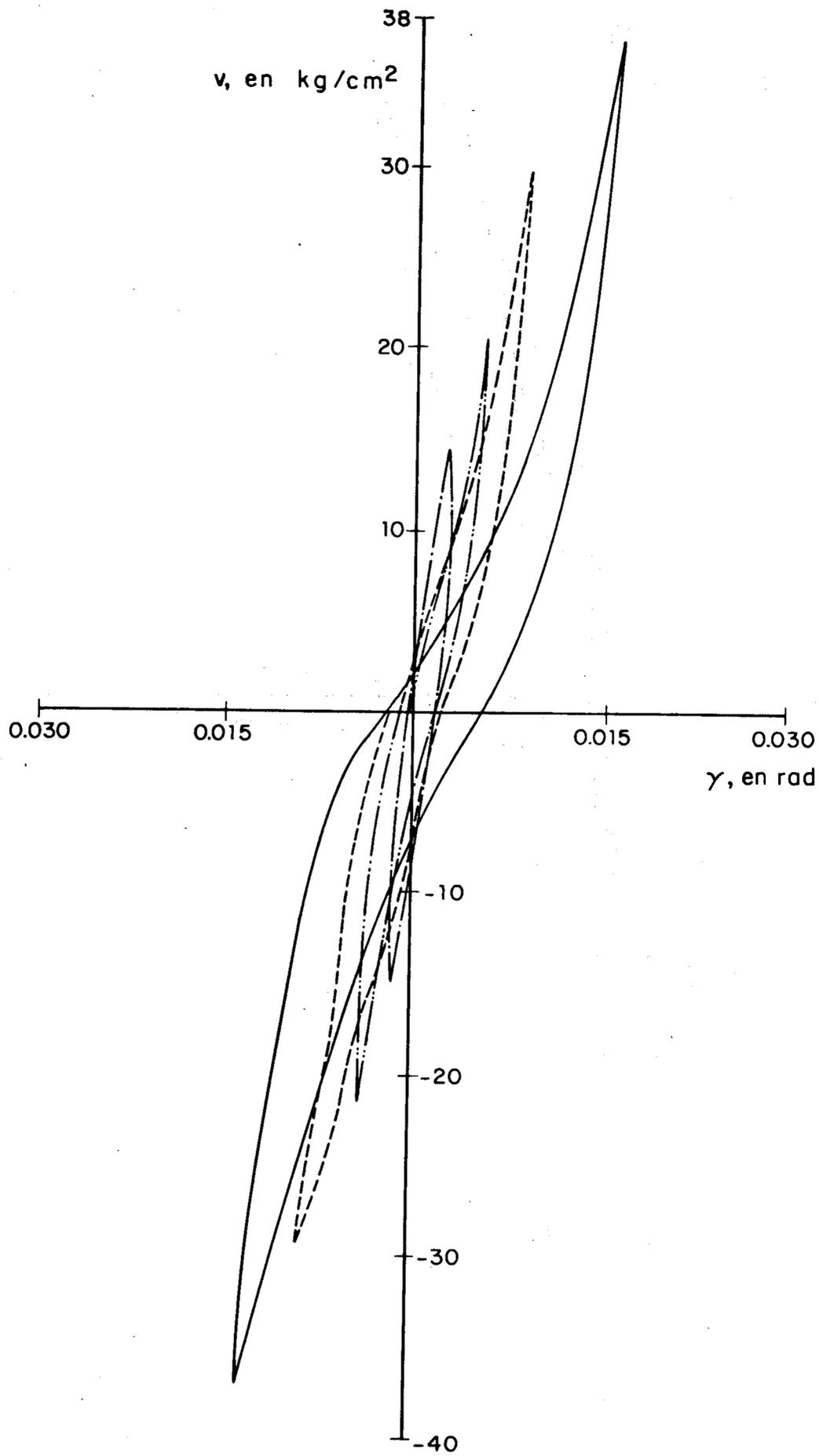


Fig 18. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 11

v , en kg/cm^2

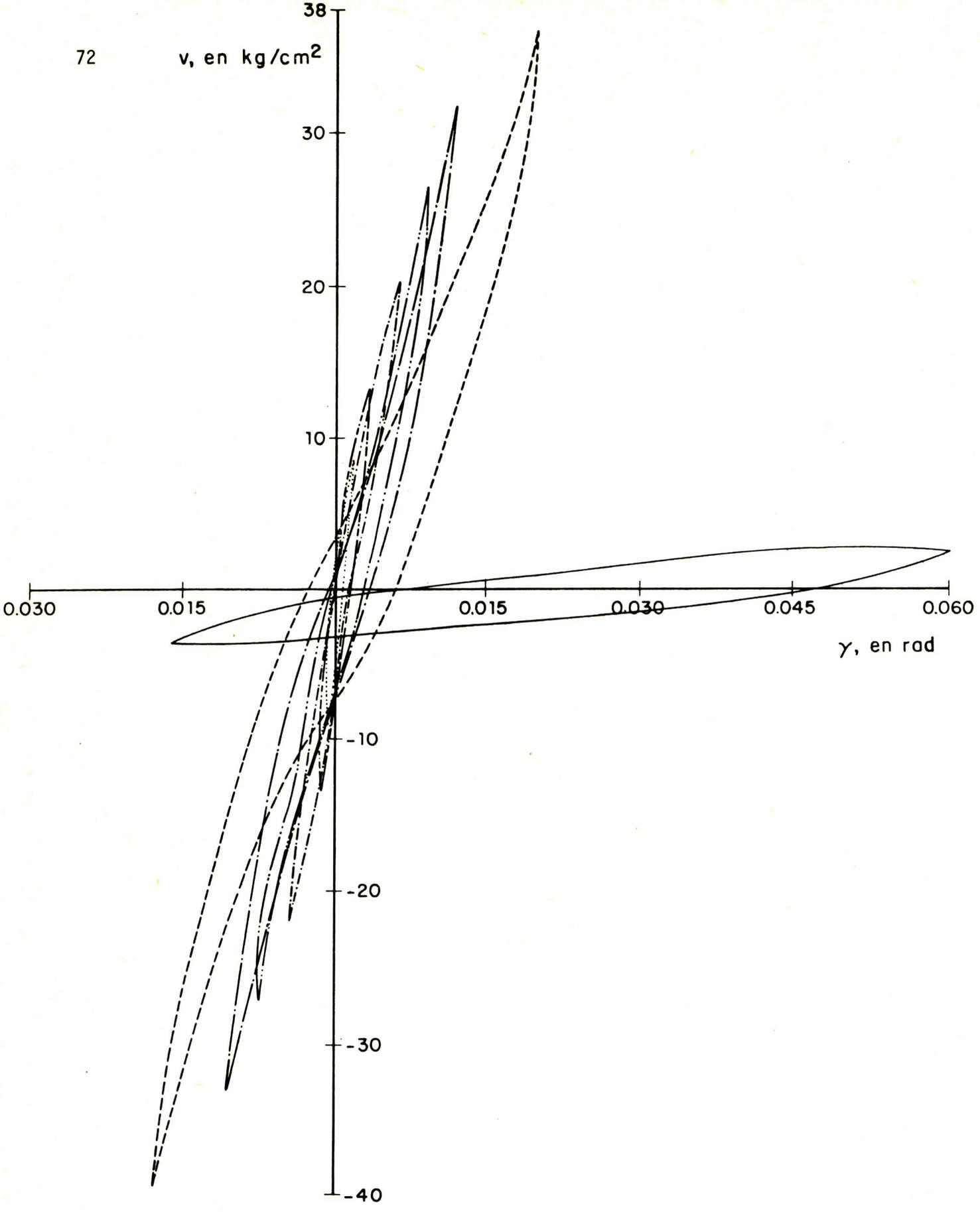


Fig 19. Ciclos histeréticos de esfuerzo vs deformación angular del muro 12



Fig 20. Configuración de falla del muro 11

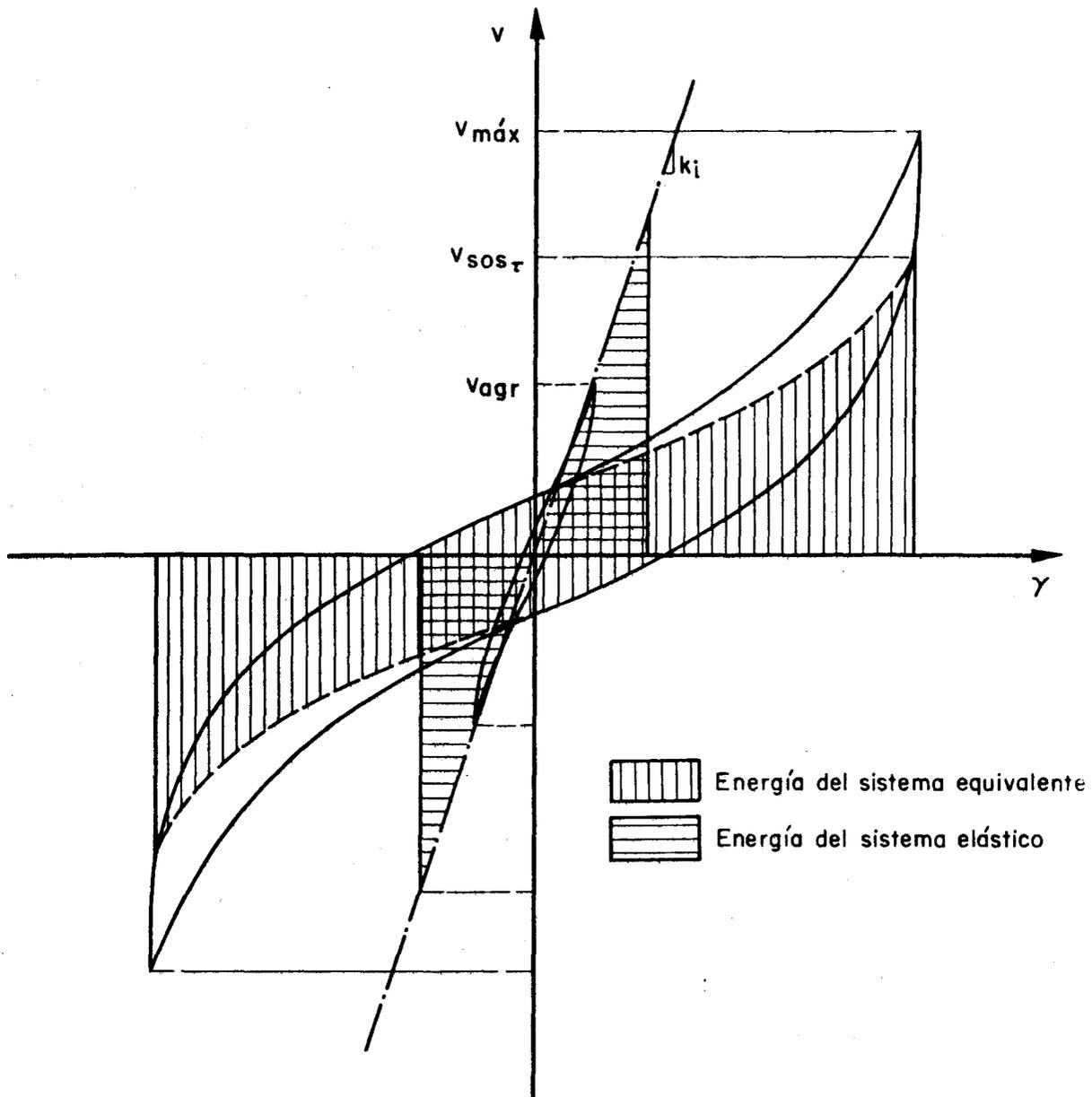


Fig 21. Descripción de los parámetros empleados para definir ductilidad