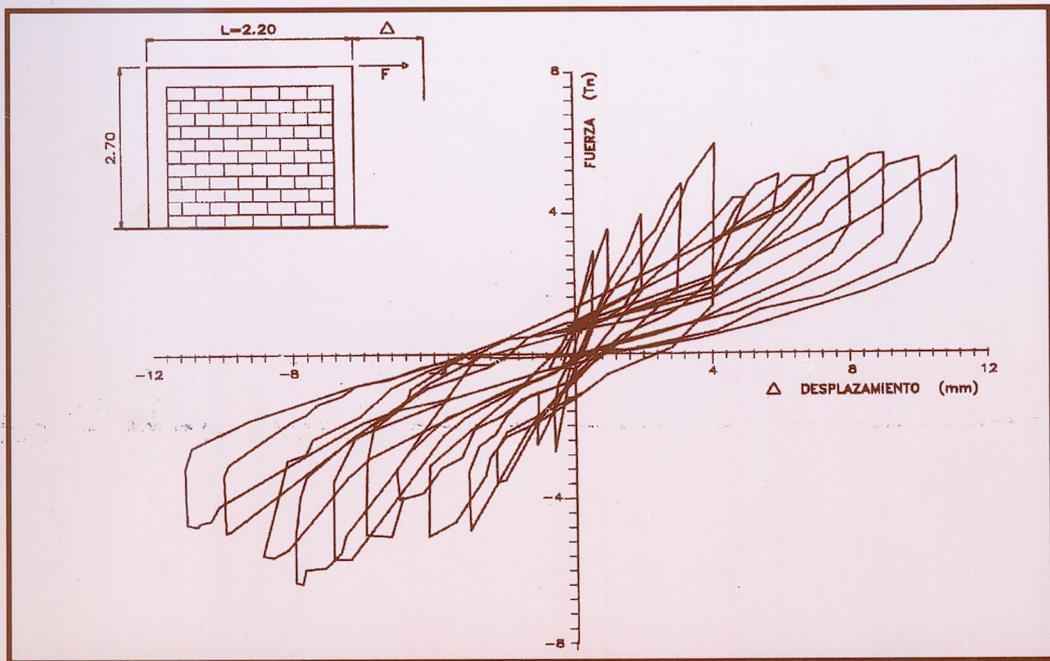


# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica  
ENERO/JUNIO 1995 VOLUMEN 5 N° 1



# ESTIMACION DE LA RIGIDEZ LATERAL EN PAREDES DE MAMPOSTERIA CONFINADA SOMETIDAS A CARGAS CICLICAS

Miguel F. Cruz<sup>1</sup>  
Marianella Lafuente<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se presenta en este trabajo un análisis basado en el método de elemento finito para estimar las variaciones de rigidez que sufren las paredes de mampostería no reforzada, confinada por elementos de hormigón armado, sometidos a cargas alternantes. Se cuenta con los resultados experimentales de nueve paredes ensayadas con ciclos de carga estabilizados. En cada ciclo de cargas el módulo de elasticidad de los elementos de la malla de elementos finitos, que alcanzan la resistencia a la compresión o a la tracción en alguno de sus esfuerzos principales, sufre una reducción del 50 %. Posteriormente la rigidez analítica de la pared se ajusta, mediante un parámetro modificador  $m$ , a la rigidez experimental de dicho ciclo. No fue posible correlacionar el parámetro modificador  $m$  con ninguno de los parámetros estudiados (esbeltez y carga axial); sin embargo, se observó que  $m$  es un parámetro que oscila alrededor de 1,0 con un valor promedio de 0,95.

Se evaluó un índice de daño para cada ciclo basado en la rigidez analítica inicial y la rigidez experimental del ciclo. El índice de daño varía según el nivel de desplazamiento de la pared.

Posteriormente se evaluó la rigidez de la pared utilizando un valor de  $m$  cercano al promedio de 0,93 para todos los ciclos de carga y el error de la rigidez predicha analíticamente con la rigidez experimental presenta un valor promedio del 17 %. El índice de daño predicho de esta manera presenta valores con un error promedio del 15 %.

## SUMMARY

A Finite Element analysis is presented in this work to estimate the stiffness variations of unreinforced masonry walls, confined by reinforced concrete elements, when subjected to cyclic loads. Experimental results of the stabilized cycles of nine walls tested were available. During each cycle of the analysis, the modulus of elasticity of those elements that reach the compression or traction strength is reduced to 50% of its initial value. After this reduction, the analytical stiffness is adjusted to the stiffness of the test by a parameter named  $m$ . No correlation between the parameter  $m$  and any of the wall characteristics was found.

It was observed that the value of  $m$  is around 1,0, with an average value of 0,95.

A damage index, for each cycle, is evaluated based on the initial analytical stiffness and on the experimental stiffness of the cycle. The damage index varies with the lateral displacement of the wall.

A second analysis was performed in order to reproduce the experimental stiffness. This analysis used a constant value of  $m$ , equal to 0,93, and the average error determined in the predicted stiffness was 17%. The average error in the predicted damage index was 15%.

## 1- INTRODUCCION

El estudio de la rigidez lateral de las paredes de mampostería es importante en el análisis sísmico de estructuras, tanto para evaluar la rigidez del sistema como para determinar el nivel de carga y participación que tienen en el conjunto. Sin embargo, la rigidez de la mampostería no permanece constante durante las sacudidas sísmicas debido al deterioro y daño que sufren las paredes.

El objetivo de este trabajo es evaluar analíticamente la rigidez lateral de 9 paredes de mampostería no reforzada, confinada con elementos de concreto reforzado que fueron ensayadas bajo carga cíclica (1). La mampostería de las paredes es de bloques de arcilla huecos.

El método de elemento finito permite evaluar dicha rigidez mediante la incorporación apropiada de las características elásticas de los materiales. Estas características "elásticas" varían según el nivel de carga y deformación que presente el material.

<sup>1</sup> Profesor Asociado Universidad de Costa Rica.

<sup>2</sup> Profesora Asociada Universidad de Venezuela.

capacidad de carga. El índice de daño dado por la expresión 7 sería 0.65. El límite de 5 mm parece ser el límite de deformación donde la carga lateral deja de incrementarse en todos los ensayos y el índice de 0,65 es en promedio el valor alcanzado en esa deformación.

#### 5.1 Influencia de la malla de elementos finitos

Para determinar que tan sensible es el cálculo realizado con respecto a la densidad de la malla de elementos finitos, se realizó el cálculo de la pared AT con tres mallas diferentes a saber 81, 121 y 144 nudos. Las rigideces iniciales obtenidas resultaron ser 33.868, 33.061 y 32.851 kg / cm respectivamente, y los valores de  $m$  en la deformación de 5,5 mm resultaron ser 0,936, 0,966 y 0,973 para cada malla en el orden mencionado.

Obsérvese que la diferencia en la rigidez no es más del 2,5 % entre la malla más densa y la menos densa y el cálculo de  $m$  no difiere en más del 4 % entre las mismas mallas. Por lo tanto se trabajó con una malla de 121 nudos ya que la precisión obtenida es bastante buena para los datos que se trabajaron.

#### 6- ESTIMACION DE LA RIGIDEZ Y LAS DEFORMACIONES UTILIZANDO UN $m$ CERCANO AL PROMEDIO

En esta parte del trabajo se hará una estimación de los desplazamientos y de la rigidez real utilizando el valor de  $m$  promedio y las cargas laterales de los ensayos. Se pretende determinar la bondad de  $m$  para predecir las rigideces y los desplazamientos de la pared.

Se utilizó el mismo programa con las modificaciones necesarias para que realice este otro tipo de cálculo. El procedimiento de análisis es similar al utilizado para calcular  $m$ , es decir, cada vez que algún elemento alcanza alguna de sus resistencias su rigidez se modifica en un 50 % y mantiene ese valor para los ciclos de carga siguientes.

Para cada dirección de carga los desplazamientos calculados son incrementados en la razón 1/m y la rigidez de todos los elementos, después de modificados los que exceden la resistencia, se disminuye en  $m$ .

El utilizar  $m$  igual a 0,95, que es el valor promedio, hace que los desplazamientos y las rigideces de las paredes cuyo  $m$  promedio es 0,94 o mayor sean predichos con errores pequeños, menores del 20 %. Este mismo valor de  $m$  causa errores muy grandes en aquellas paredes cuyo  $m$  promedio es menor que 0,94.

El utilizar  $m$  igual a 0,90 causa un efecto inverso, es decir, introduce errores muy grandes en paredes de  $m$  promedio mayor a 0,94 y errores aceptables en paredes de  $m$  promedio menor a 0,94.

Se han realizado los cálculos para un valor de  $m$  igual a 0,93. Los errores que este valor causa en los desplazamientos, en la rigidez y en el índice de daño se presentan en las tablas 5 y 6. El error en el índice de daño se reporta únicamente para el valor último de deformación analizado.

Se puede observar que el error más grande en la estimación de la rigidez se da en la pared DT, que precisamente la pared con mayor dispersión de  $m$ . El error más grande en el desplazamiento está en la pared CT. Esta pared también presentaba una gran dispersión en  $m$ .

La pared mejor predicha resultó ser la BT con errores promedio menores del 10 %. El  $m$  promedio de esta pared había sido 0,94 muy cercano a 0,93 que es el utilizado en esta predicción.

Las paredes ET, GT y HT también resultaron bien predichas con errores promedio menores que el 22 %.

La pared IT presenta un error muy grande en el cuarto punto del cálculo. Esto se debe a que esta pared en ese punto sufre una caída muy abrupta de la rigidez analítica debido a la modificación de rigidez de una gran cantidad de elementos. Con un ligero aumento de la resistencia de la mampostería esta caída de rigidez se hubiese evitado.

Si se desprecia la pared IT el promedio de errores en los desplazamientos es 19,2 %, y en la rigidez es 17,8 %.

El promedio de error en el índice de daño del último punto analizado es 14,1 %.

La evaluación de la rigidez lateral del sistema se hará por lo tanto con la técnica del método de elemento finito (MEF) para cada ciclo de carga, introduciendo las modificaciones en las características de los materiales que hagan que la rigidez del MEF sea igual a la rigidez experimental.

El trabajo se limita al estudio de estas 9 paredes para las esbelteces y cargas axiales consideradas (1) y mencionadas más adelante.

## 2- CARACTERISTICAS DE LAS PAREDES ENSAYADAS

Las paredes ensayadas fueron construidas con tres tipos de esbeltez, H/L, igual a 0,72, 1,0, 1,26. La altura H es igual para todas las paredes e igual a 2,17 metros. Las longitudes de estas fueron variadas para obtener las esbelteces mencionadas. El espesor de las paredes es el mismo para todas ellas e igual a 15 cm.

Se les construyó dos elementos verticales de concreto reforzado de 15 x 15 (cm x cm) en los extremos de la pared. Además todas ellas tienen una viga corona de 20 x 15 que junto con los elementos verticales confinan a la mampostería de arcilla. Estos elementos de concreto fueron reforzados con 4 barras de 1,27 cm de diámetro y estribos de un diámetro de 0,95 cm y colocados cada 15 cm. El concreto de estos elementos es de una resistencia a la compresión de 210 kg/m<sup>2</sup>.

La resistencia a la compresión y a la tracción así como el módulo de elasticidad de la mampostería se muestra en la tabla 1. También se muestra el módulo de Poisson y estas mismas características para el concreto.

La variación de las características de la mampostería es grande y los valores mostrados no son más que valores medios (1).

A estas paredes se les aplicó una carga axial de tal manera que esta carga axial produjese esfuerzos verticales iniciales iguales a 0 %, a 12,5 % y 25 % del f<sub>cm</sub> (f<sub>cm</sub> es la resistencia a la compresión de la mampostería). Un resumen de las dimensiones de cargas verticales para cada pared se muestra en la tabla 2.

Los valores de carga y deformación extremos de cada ciclo para cada pared se muestran en la tabla 3. La figura 1 muestra los ciclos histeréticos estabilizados para el muro DT. Se puede apreciar la degradación de rigidez típica para cada pared. Los valores de la carga horizontal de algunos de los puntos han sido modificados de tal manera que no haya cambios bruscos de rigidez y tal manera que los lazos histeréticos sean aproximadamente simétricos. Los puntos que sufrieron modificación se indican en la tabla.

## 3- PROCEDIMIENTO DE ANALISIS

El análisis de las paredes se realiza de manera cíclica considerando el comportamiento no lineal que presentan los elementos de mampostería. El procedimiento se puede resumir como sigue:

1- Se define una malla de elementos finitos, de estado plano de tensiones, cuadriláteros de ocho grados de libertad por elemento. El concreto y la mampostería se suponen como materiales homogéneos e isotrópicos.

2- Se carga la pared con la carga vertical y se define un estado de esfuerzo inicial ( $s_x$ ,  $s_y$ ,  $t_{xy}$ ) en el centro de cada elemento.

3- Se carga la estructura con la carga del punto 1 y se calculan los esfuerzos producidos en el centro de cada elemento. Este análisis lleva al punto 1a, figura 2 y define la rigidez analítica inicial  $K_0$ .

4- Los esfuerzos de la carga lateral se adicionan a los esfuerzos iniciales y se calculan los esfuerzos principales.

5- Todos aquellos elementos cuyos esfuerzos principales queden fuera del diagrama de interacción de esfuerzos biaxiales, mostrado en la figura 3, sufrirán una modificación de rigidez. Esta modificación se discute más adelante.

6- Si hay elementos con rigidez modificada se desprecia el cálculo realizado en el punto 3 y se repite el análisis con carga lateral e incluyendo los elementos con rigidez modificada.

Este análisis lleva al punto 1b y define la rigidez analítica  $K_{da}$ , figura 2.

- 7- Se define un parámetro modificador  $m$  que modifica a todos los módulos de elasticidad del sistema de tal manera que la rigidez analítica,  $K_{da}$ , sea igual a la rigidez experimental  $K_d$ , figura 2. De esta manera  $m = K_{da} / K_d$ .
- 8- Se calcula el estado de esfuerzos acumulados y se almacena para el próximo punto de carga.
- 9- Con la nueva rigidez de la pared, se carga ahora con una carga igual a  $F_1 + F_2$  y se llega al punto 2a.
- 10- Se adicionan los esfuerzos acumulados y se calculan los esfuerzos principales en el centro de cada elemento.
- 11- Todos aquellos elementos cuyos esfuerzos principales queden fuera del diagrama de interacción de esfuerzos biaxiales, sufrirán una modificación de rigidez.
- 12- Si hay elementos con rigidez modificada se desprecia el cálculo realizado en 9 y se repite para la misma carga lateral e incluyendo los elementos con rigidez modificada. Este análisis lleva al punto 2b y define una nueva rigidez analítica  $K_{da}$ .
- 13- Se define un nuevo parámetro modificador  $m$  que ajuste la rigidez  $K_{da}$  del punto 2b a la rigidez experimental  $K_d$  del punto 2.
- 14- Se calcula el estado de esfuerzos acumulados y se almacena para el próximo punto.
- 15- El proceso se repite para cada punto extremo de carga del diagrama histerético que se tenga.
- Debe notarse que lo que se está calculando y ajustando con los datos experimentales es la rigidez secante de cada lazo histerético.

Los valores de  $m$  se almacenan y se correlacionan luego con las características de las paredes.

Se espera que los errores en el cálculo de esfuerzos que se producen con este procedimiento se compensen con el cálculo del parámetro modificador  $m$ , y sea este parámetro el encargado de ir corrigiendo el procedimiento analítico y ajustando la rigidez al dato experimental.

#### 4- DEFINICION DEL INDICE DE DAÑO EXPERIMENTAL

Para definir un índice de daño en las paredes se ha seguido la definición propuesta por Powell (2), donde el parámetro de daño se ha escrito como:

$$\delta = 1 - \frac{P_d}{P_0} \quad (1)$$

En esta expresión  $P_d$  y  $P_0$  son las condiciones estructurales, en condición dañada y sin daño respectivamente, por utilizar para medir el deterioro. En este trabajo la condición estructural por considerar será la rigidez lateral de la pared (rigidez secante), por lo tanto:

$$\delta = 1 - \frac{K_d}{K_0} \quad (2)$$

El índice de daño se define (2) como:

$$ID = \frac{\delta c - \delta t}{\delta u - \delta t} \quad (3)$$

donde  $\delta c, \delta t, \delta u$  es el parámetro de daño en las condiciones dañadas, sin daño y de ruina total, respectivamente.

Si se acepta que en la condición sin daño la rigidez es  $K_0$  y en la condición de ruina total la rigidez es cero, entonces:

$$\delta t = 0 \quad (4)$$

$$\delta u = 1 \quad (5)$$

de ahí que el índice de daño se pueda escribir como:

$$ID = \frac{K_0 - K_d}{K_0} \quad (6)$$

Con esto se tiene  $ID = 0$  para el estado inicial e  $ID = 1$  para la ruina total.

Este índice será evaluado en este trabajo en los extremos de cada ciclo ya que se cuenta con la rigidez experimental  $K_d$  (secante) y con la evaluación de la rigidez inicial  $K_0$ .

#### 5- MODIFICACIONES DE RIGIDEZ Y CALCULO DE $m$ E $ID$

El procedimiento de cálculo descrito es la parte 3 se ha automatizado mediante un programa escrito en lenguaje CMAP (3) y se ha procedido al cálculo de  $m$  para cada punto de cada pared.

La tendencia general en análisis no lineal de materiales elasto - plásticos es la eliminación de la rigidez de aquellos elementos que alcancen los límites de cedencia y/o resistencia. El programa fue escrito originalmente para que aquellos elementos que alcanzan el  $f_{tm}$  o el  $f_{cm}$  sufrieran una modificación de rigidez que la redujera a la centésima parte de la rigidez original, o lo que es prácticamente la eliminación del elemento. Esta modificación de rigidez causaba que el deterioro de la rigidez analítica fuese más acelerado que el deterioro de la rigidez experimental y los parámetros  $m$  crecieran a valores mucho mayores que 1,0.

Existen otros modelos de fisuración más complejos, pero todos llevan a problemas numéricos similares.

Se probaron otros valores de reducción de rigidez como la reducción a la décima parte y a la tercera parte de la rigidez inicial. Estas reducciones también causaron el crecimiento de  $m$  a valores muy grandes.

El utilizar un 50 % de la rigidez original, si los elementos tienen esfuerzos que exceden los límites de resistencia, causó que el cálculo de  $m$  fuese estable y con valores cercanos a 1,0. El valor mínimo de  $m$  resultó ser 0,7 y el máximo 1,22 con un promedio de 0,95. El cambio de rigidez opera

únicamente cuando se alcanza alguna resistencia, a tracción o a compresión, por primera vez y luego el elemento no es modificado más.

Los valores de  $m$  obtenidos se muestran en la tabla 4. No fue posible encontrar ninguna relación de  $m$  con la esbeltez ni con la carga axial ni con el nivel de deformación. Lo que sí es claro es que  $m$  es estable alrededor de 1,0. La pared con más dispersión de  $m$  es la pared DT que tiene un  $m$  promedio de 0,92, y la que presenta menos dispersión es la pared FT que tiene un  $m$  promedio de 0,97. La pared HT también presenta poca dispersión y su  $m$  promedio es 0,90.

Esta empírica modificación de rigidez, que con los datos analizados da resultados aceptables, puede tener explicación en el hecho de que las resistencias utilizadas no son más que un promedio y que cuando el elemento sea sometido a un estado de esfuerzos biaxiales en condiciones de falla, su comportamiento se puede ver influenciado por el confinamiento que le brindan los elementos circundantes. Por otro lado el comportamiento cíclico de la rigidez del material en condiciones de esfuerzo biaxial confinado puede diferir del comportamiento uniaxial monotónico considerado, de ahí que la caída abrupta de su rigidez no parece dar resultados aceptables, mientras que la modificación al 50 % de la rigidez brinda buenos resultados.

Durante el proceso de cálculo se evaluó en cada punto el índice de daño definido en la ecuación 6. Los resultados se muestran en la figura 4.

La línea de mejor ajuste para los puntos medios de cada desplazamiento sería:

$$ID = 0.11x \Delta + 0.1 \quad (7)$$

donde  $\Delta$  es el desplazamiento lateral en milímetros.

Según la ecuación 7 el valor de  $ID = 1,0$  se obtendría para desplazamientos de 8 mm aproximadamente, lo que es consistente con los resultados experimentales.

La figura 5 muestra la envolvente fuerza - desplazamiento para el muro DT tomada de la referencia 1. Obsérvese que para desplazamientos de más de 5 mm la pared no incrementa su

Estos errores resultan aceptables dada la cantidad de variables involucradas y la precisión utilizada para medir las características del material.

También son aceptables dado el método simplificado que se ha seguido, lo que muestra que a pesar del grado de simplificación del método, este brinda buenos resultados dentro del rango de variación que se espera para el tipo de pared analizada.

## 7- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha podido mostrar que el análisis no lineal de paredes de mampostería de arcilla no reforzada y confinada utilizando materiales isotrópicos y homogéneos equivalente a los reales conduce a resultados aceptables en el cálculo de la rigidez y de los desplazamientos siempre y cuando se consideren modificaciones moderadas del módulo de elasticidad y obviando el comportamiento frágil de la mampostería.

La modificación del módulo de elasticidad en un 50 % en aquellos elementos que alcancen los límites de resistencia parece ser, en estas paredes, la modificación que mejor conduce a la estimación de la rigidez de la pared.

La modificación del 50 % mencionada requiere ajustes de la rigidez analítica para obtener la rigidez experimental del orden de 1,0, con un valor promedio del parámetro modificador de 0,95.

No fue posible correlacionar las variaciones de  $m$  con ninguno de los parámetros considerados en los ensayos.

El índice de daño definido expresa en términos numéricos el daño observado en las paredes.

Se estimó que para desplazamientos mayores de 5 mm la pared era irreparable, lo que coincide con índices de daño del orden de 0,65. Para estos desplazamientos no había capacidad de aumentar la

carga y para 8 mm la ruina era total lo que coincidiría con índice de daño iguales a 1,0.

La predicción de la rigidez y de los desplazamientos así como de los índices de daño con valor de  $m = 0,93$  resultó aceptable por lo tanto se propone utilizar este valor de  $m$ .

Para esto se debe realizar el análisis por el Método de Elemento Finito, modificar en un 50 % el módulo de elasticidad de los elementos cuyos esfuerzos superen la resistencia, reducir la rigidez de cada medio ciclo de carga en 0,93 veces la rigidez del medio ciclo anterior y aumentar el desplazamiento obtenido en 1/0,93 veces.

El procedimiento sencillo descrito permite obtener la rigidez de paredes de mampostería del tipo descrito dentro de los límites de precisión posibles para este tipo de construcción.

## BIBLIOGRAFIA

- 1- Castilla, E., Lafuente, M. y Genatios, C. "Sobre el Comportamiento Sismo - Resistente de Estructuras de Muros de Mampostería. La Contribución del IMME". Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1993.
- 2- Powell, G. K. y Allahabadi, R. "Seismic Damage Prediction by Deterministic Methods: Concepts and Procedures" Earthquake Engineering and Dynamic of Structures. Vol 16 , Pag. 719 , 1988.
- 3- Ha, K. "CMAP, Mathematical Analysis Program" Concordia University, Montreal, Canadá, 1993.

**TABLA 1**  
**CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES**

MATERIAL	E (kg / cm <sup>2</sup> )	$\nu$	RES. COMPRESION	RES. TRACCION
	MOD. ELASTICIDAD	M. POISSON	(kg / cm <sup>2</sup> )	(kg / cm <sup>2</sup> )
CONCRETO	210000	0,2	210	100
MAMPOSTERIA	7000	0,35	18	1,8

**TABLA 2**  
**DIMENSIONES Y CARGAS EN PAREDES**

PARED	ESBELTEZ	ALTURA H(m)	ANCHO L (m)	CARGA VERTICAL (kg)	$\sigma_y$ / fcm
AT	1,26	2,17	1,72	0	0
BT	1,26	2,17	1,72	5572	0,125
CT	1,26	2,17	1,72	11145	0,25
DT	1,0	2,17	2,20	0	0
ET	1,0	2,17	2,20	7092	0,125
FT	1,0	2,17	2,20	14184	0,25
GT	0,72	2,17	2,90	0	0
HT	0,72	2,17	2,90	9488	0,125
FT	0,72	2,17	2,90	18976	0,25

**TABLA 3**  
**VALORES DE F - Δ DE LOS ENSAYOS**

PARED																			
PUNTO	A1		B1		C1		D1		E1		F1		GT		HT		IT		
	F	Δ	F	Δ	F	Δ	F	Δ	F	Δ	F	Δ	F	Δ	F	Δ	F	Δ	
1	3500	1,08	2645	1,00	3850	1,00	3590	1,01	3325	1,01	3665	1,00	5374	1,07	4592	1,05	6612	1,03	
	*																		
2	-3438	-1,08	-2600	-1,00	-3778	-1,01	-2305	-1,04	-2834	-1,09	-3325	-1,01	-4500	-0,93	-4270	-1,00	-5517	-1,00	
			*									*							
3	3854	2,27	4345	1,97	4950	2,00	4081	1,99	4650	2,00	5592	2,01	5915	1,43	7708	2,12	10542	2,08	
									*										
4	-3800	-2,26	-4300	-2,00	-4900	-2,00	-3703	-2,22	-4119	-2,08	-5400	-2,03	-6626	-1,70	-6877	-2,01	-10826	-2,12	
	*		*		*					*			*						
5	4572	3,78	6197	4,12	7368	3,07	4950	3,09	5900	3,08	7255	3,07	6345	1,78	7700	3,05			
								*							•				
6	-4500	-3,70	-5668	-4,12	-7300	-3,01	-4836	-3,01	-5542	-3,07	-7000	-3,11	-7440	-2,23	-7500	-3,01			
	*		*		*					*		*		*	•				
7	5592	5,48	6612	5,03	7670	4,07	6008	4,13	7330	4,08	7973	4,17	7000	2,15	8010	4,09			
										*		*	*						
8	-5500	-5,49	-5970	-5,00	-6159	-4,04	-5025	-4,19	-6046	-4,09	-7700	-4,09	-6888	-2,92	-7481	-4,21			
	*									*	*	*	*						

F: Fuerza lateral en kg.

Δ: Desplazamiento lateral de la línea superior en mm.

\*: Indica que la fuerza ha sido modificada.

**TABLA 4**  
**VALORES DE m**

PARED PUNTO	AT	BT	CT	DT	ET	FT	GT	HT	IT
1	0,98	0,80	1,03	0,90	0,84	0,95	0,88	0,84	0,97
2	0,99	0,99	1,04	0,81	0,39	0,95	0,98	0,99	0,93
3	0,70	0,93	0,84	0,73	0,83	0,90	0,90	0,91	0,96
4	0,80	1,00	0,97	0,87	0,89	0,99	0,94	0,93	1,22
5	0,94	1,06	1,13	0,90	0,96	1,01	0,95	0,83	-
6	0,94	0,90	1,04	1,01	1,02	1,05	1,09	0,89	-
7	1,10	0,94	0,88	1,22	1,21	0,94	1,01	0,90	-
8	0,97	0,93	0,81	0,89	0,95	0,96	0,94	0,90	-
PROMEDIO	0,93	0,94	0,97	0,92	0,95	0,97	0,96	0,90	1,02

- : puntos no disponibles.

**TABLA 5**  
**ERROR EN EL DESPLAZAMIENTO Y LA RIGIDEZ**  
**USANDO m = 0,93**

PARED PUNTO	A1		B1		C1		D1		E1		F1		G1		H1		I1	
	E (Δ)	E (K)																
1	5,3	5,2	14,0	15,8	11,0	9,6	2,7	2,8	10,2	11,0	2,0	1,9	5,6	5,2	9,5	10,6	4,8	4,6
2	19,2	11,0	3,0	9,2	36,0	19,0	27,4	17,8	17,1	15,7	7,9	4,6	6,4	0,5	3,0	3,9	4,7	4,5
3	47,0	18,7	10,1	8,4	0,0	10,7	36,1	49,3	26,5	30,2	2,0	1,0	4,2	2,5	9,4	5,7	9,1	7,3
4	30,6	38,7	1,0	0,0	30,0	14,2	37,7	58,4	26,9	36,3	16,2	7,0	5,3	1,2	0,7	5,1	72,2	29,1
5	29,4	37,7	14,6	12,2	47,0	29,3	38,0	62,5	22,4	31,4	16,2	14,1	2,2	1,3	23,9	17,0		
6	23,5	36,4	3,9	9,0	68,8	36,9	27,4	25,6	11,7	20,9	46,9	24,2	35,4	15,7	12,0	22,0		
7	6,0	14,9	16,9	9,9	36,4	33,3	1,6	13,8	23,3	7,7	24,0	25,2	22,5	22,5	26,6	25,7		
8	13,3	10,7	6,3	10,5	24,4	22,9	30,8	19,7	1,2	10,4	54,0	28,1	37	23,4	20,4	30,6		
PROMEDIO	21,8	21,7	8,7	9,4	31,7	22,0	25,2	31,2	17,4	20,4	21,1	13,3	14,9	9,04	13,2	15,1	22,7	11,4

E (Δ): Porcentaje de error en el desplazamiento.

E (K): Porcentaje de error en la rigidez.

**TABLA 6**  
**ERRORES EN EL INDICE DE DAÑO**

PARED	AT	BT	CT	DT	ET	FT	GT	HT	IT
E (ID)	5,0	6,4	18,5	10,0	7,2	26,7	21,8	17,3	92

E (ID): Porcentaje de error en índice de daño de último punto calculado.

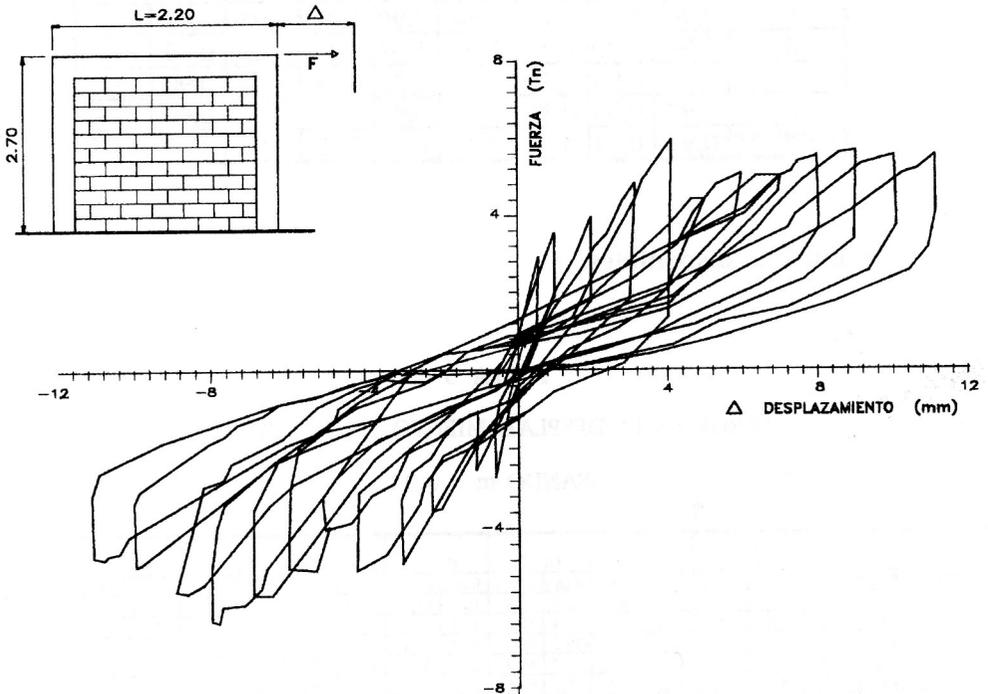


FIGURA 1. LAZOS HISTERETICOS PARA MURO DT

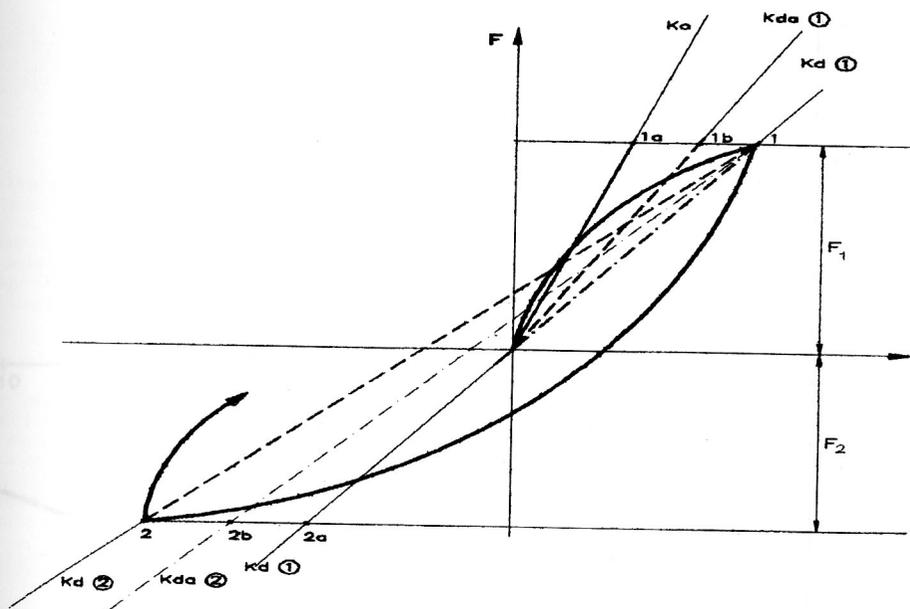


FIGURA 2.  
DEFINICION DE RIGIDECES EN LOS DOS PRIMEROS MEDIOS CICLOS

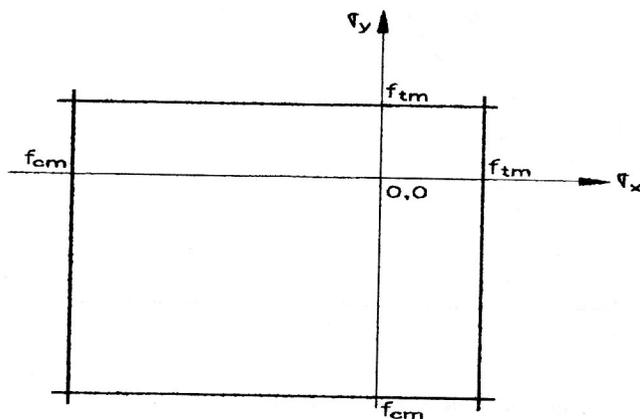


FIGURA 3. DIAGRAMA DE INTERACCION DE ESFUERZOS BIAxiaLES

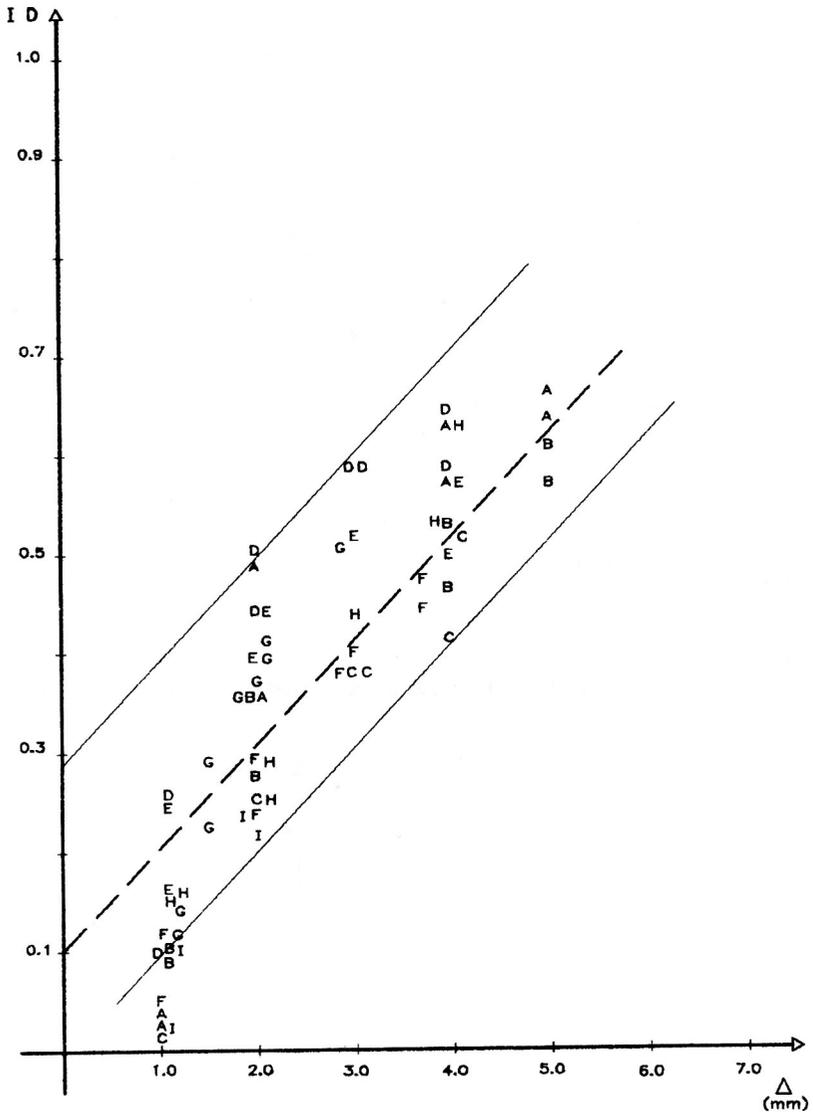
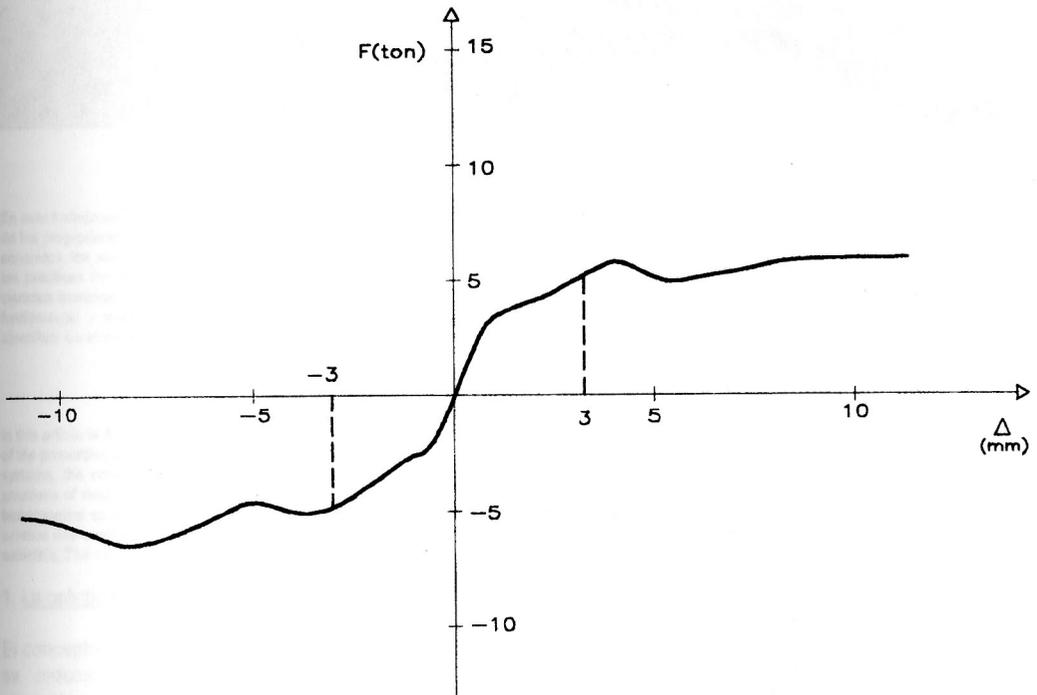


FIGURA 4. INDICES DE DAÑO



**FIGURA 5. ENVOLVENTE DEL MURO DT - CICLOS ESTABILIZADOS**  
( CONSTRUIDO CON LOS DATOS ORIGINALES )