

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A FLEXO-COMPRESIÓN DE MUROS ESBELTOS DE FABRICA DE BLOQUES DE HORMIGÓN, CON Y SIN ARMADURA, A PARTIR DEL ENSAYO DE PRISMAS.*

Nelson Tuesta Durango.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Luis Villegas Cabredo.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Germán Gutiérrez Martín.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Leoncio Roche García.

Ingeniero Técnico Industrial.

Dpto. de Diseño y Construcción de Estructuras.

E.T.S de Ingenieros de Caminos de Santander -Universidad de Cantabria.

RESUMEN

En este artículo se presenta una confrontación teórico-experimental del comportamiento resistente de muros de fábrica de bloques, de 2,6m de altura y $(0,14 \times 1,00)m^2$ de sección transversal.

Para llevar a cabo esta investigación se han ensayado 21 muros, con y sin armadura, así como elementos de ensayo (prismas) propuestos por ASTM E447 [2].

De la confrontación realizada se ha obtenido que la resistencia de los muros, puede ser estimada a partir del ensayo de prismas.

ABSTRACT

This article presents a theoretical-experimental confrontation of the resistance behavior of slender concrete masonry walls, 2.6m high and $(0.14 \times 1.00)m^2$ in cross-section. In order to carry out this investigation 21 walls (with and without reinforcement), as well as the element of research (prism specimens) proposed by ASTM E447 [2], have been tested.

Analysis of confrontation results indicates that the wall strength can be predicted on the basis of prism testing.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
mayo de 1996.

Recibido en ROP:
diciembre de 1994

* Este artículo forma parte de la Tesis Doctoral [10] realizada por el Ing. Tuesta y dirigida por el Prof. Villegas, habiendo obtenido la calificación de Apto Cum Laude.

1. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales que corresponden a esta investigación, son los siguientes :

▼ Determinar experimentalmente las cargas de rotura, con distintas excentricidades, en "Muros" de fábrica de bloques de hormigón (simples y armados): De 2,6 m de altura y $(0,14 \times 1,00) \text{ m}^2$ de sección transversal; es decir, con una esbeltez geométrica de 18,6. Los resultados de estos ensayos se confrontarán con las propuestas teóricas que tienen en cuenta los efectos desfavorables de la excentricidad y de la esbeltez, en el comportamiento del muro.

▼ Obtener "coeficientes de paso" de la resistencia de "Prismas" [3] (especímenes sencillos de ejecutar, transportar y relativamente económicos),

a la de los muros de fábrica del apartado anterior. Se pretende con ello, utilizando las formulaciones analíticas existentes, llegar a previsiones realistas de las cargas resistidas por fábricas sometidas a flexo-compresiones transversales a su plano.

1.2. MODELO EXPERIMENTAL SELECCIONADO

El modelo experimental elegido es un esquema de excentricidades de carga iguales y del mismo sentido (véase figura 1).

1.3. PLAN DE ENSAYOS

A fin de cumplir con los objetivos de esta investigación, en su parte experimental, se ha programado el plan de ensayos de la Tabla 1.

TABLA 1. PLAN DE ENSAYOS

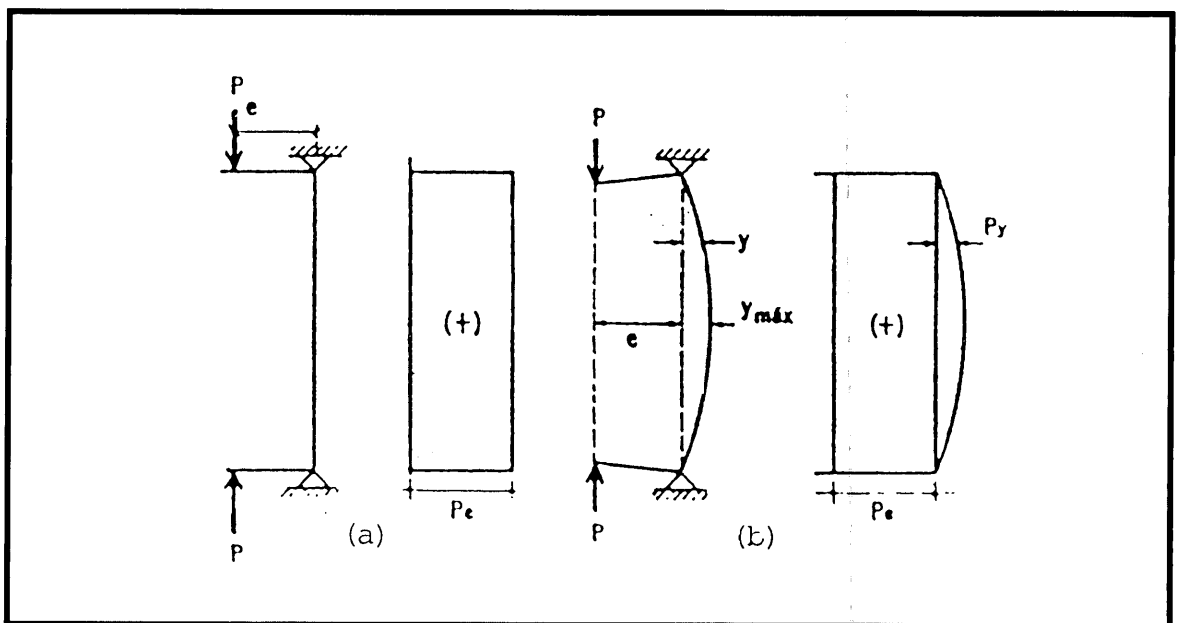
ENSAYOS	VARIABLES INVESTIGADAS
MATERIALES CONSTITUYENTES	Todas (Bloques, Morteros, Hormigón de relleno y Armaduras).
MUROS (De $1 \times 2,6 \text{ m}^2$): 21 elementos. (*) Espesor del bloque, $t=14 \text{ cm}$.	- Excentricidad de la carga. - Influencia del hormigón de relleno.

2. PROPUESTAS DE NORMATIVAS SOBRE DIMENSIONES DE MUROS DE ENSAYO

Las dimensiones especificadas por las distintas normativas, para evaluar experimentalmente la resistencia de un muro de fábrica, son las siguientes :

▼ CEN/TC 125 N63 [6] considera que deberá ensayarse un mínimo de tres muros de 1m a 1,8m de longitud y de 2,4m a 2,7m de altura, véase fi-

Figura 1. Esquema de excentricidades elegido. Momentos existentes sin (a) y con (b) efecto de esbeltez.



gura 2, con una sección transversal mínima de 0,125 m².

▼ NCMA-TEK 108 [10] Y ASTM-E72 [2] consideran que deberán ensayarse un mínimo de tres muros de 1,20 m (4') de longitud y de altura igual al del elemento a investigar, que generalmente es 2,4 m (8').

3. ANÁLISIS RESISTENTE DE MUROS, SOMETIDOS A FLEXO-COMPRESIÓN, EN EL ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO

3.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RESISTENCIA DE MUROS PORTANTES

En el análisis de los muros portantes de fábrica existen diversos factores que inciden en su resistencia; dentro de los más importantes se tienen: La esbeltez del muro y el esquema de excentricidades con el que actúa la carga vertical a lo largo de su altura.

3.1.1. Esbeltez

En la figura 3 se muestra un "muro esbelto" solicitado por una carga (N) excéntrica (e), debido a la cual el muro deflecta (δ); tanto más cuanto lo sea su esbeltez. A consecuencia de lo anterior, la sección central del elemento se encuentra sometido a una flexo-compresión $[N(e+\delta)]$ mayor que en sus secciones extremas, que conlleva a una reducción de la capacidad resistente del muro, frente a la que presentaría un "muro corto".

El estudio aproximado de los efectos de esbeltez en muros de fábrica se aborda de forma análoga a como se lleva a cabo con elementos esbeltos de hormigón; existiendo dos enfoques básicos:

- Introducir una excentricidad adicional por efecto de esbeltez, cuyo valor difiere en las distintas normas. Este es el planteamiento de BS [5] y del EC-6 [8].
- Amplificar el momento de primer orden por un factor. Método este que es el seguido por las normas americanas.

Dentro de las normativas, la esbeltez se limita a los siguientes valores:

▼ EC-6 [7] y [8] considera que la esbeltez no será superior a 25, tanto para muros con o sin armadura, limitando el espesor mínimo a 90 mm

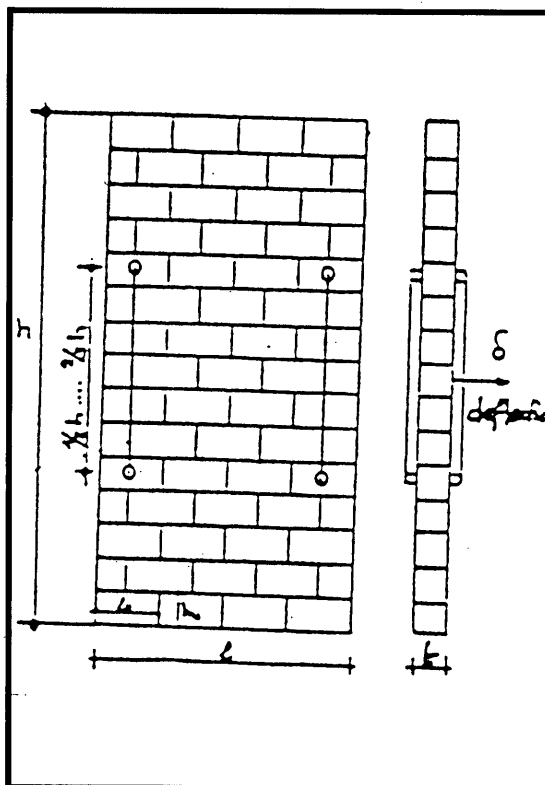


Figura 2. Muro de ensayos según CEN/TC125 N 63.

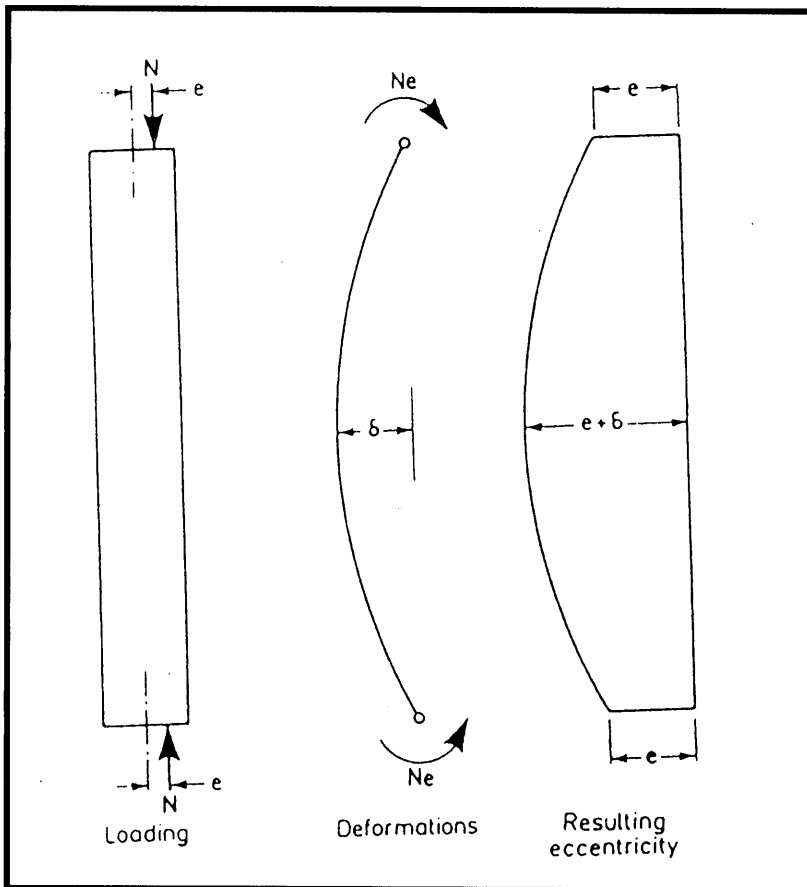
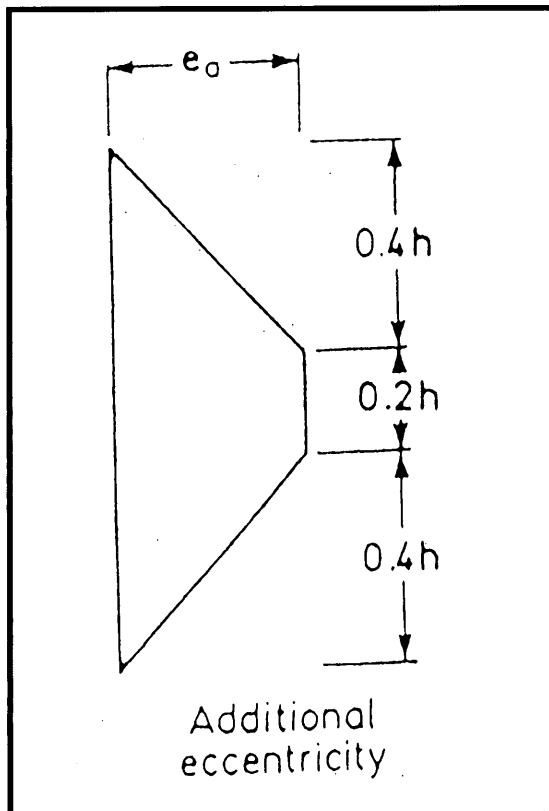


Figura 3. Comportamiento de un muro esbelto bajo cargas de compresión [11].

Figura 4. Variación asumida de la excentricidad de esbeltez, en la altura del muro, según B.S.



para piezas macizas, o 115 mm para piezas huecas o perforadas. Para esbeltez menor o igual que 12, admite no considerar su efecto.

▼ BS [4] y [5] define que la esbeltez no excederá de 27 tanto para muros armados o sin armar, excepto para espesores de muros menor de 90 mm y edificaciones de más de dos plantas, para los cuales la esbeltez no excederá de 20. Para esbeltez menor o igual que 6 en muros sin armar, y cuando no exceda de 12 en muros armados, admite no considerar su efecto.

▼ NCMA [9] y ACI [1] establecen que la esbeltez de un muro portante sin armar no excederá de 20, y si es armado no deberá ser mayor de 36.

3.1.2. Esquema de excentricidades de carga

En los muros reales, en los edificios, el valor de las excentricidades a lo largo de la altura es normalmente variable, influyendo este hecho en la resistencia del muro.

El modelo experimental seleccionado, iguales excentricidades en los extremos, es el más desfavorable a efectos de esbeltez. Sea cual sea el valor del axil N , la sección crítica es la central del muro.

3.2. ANÁLISIS RESISTENTE DE MUROS PORTANTES SIN ARMAR

▼ La norma EC-6 [7] expresa la capacidad resistente de un muro en la forma: $Nu = \phi \cdot N_o$. No. El factor reductor ϕ tiene en cuenta: La excentricidad " e_x " con que actúa la carga, la ley de momentos de primer orden que solicita al elemento, su esbeltez y el fenómeno de fluencia. Para las condiciones de esta investigación, tal factor se concreta como:

$$\phi = 1,14 \left(1 - \frac{2e_x}{t} \right) - 0,02\lambda$$

▼ La normativa B.S. 5628 [4], al igual que el EC-6, define la capacidad resistente de un muro mediante la expresión: $Nu = \phi \cdot N_o$; proponiendo una ley de "excentricidades adicionales", por efecto de esbeltez, que debe sumarse a la ley de excentricidades de primer orden (véase figura 4). Para el caso de esta investigación, lo anterior se concreta en el análisis resistente de la sección central del muro; por lo que el factor reductor ϕ , llamado β en B.S., queda entonces:

$$\phi = 1,1 \left(1 - 2 \frac{e_x + e_a}{t} \right)$$

$$e_a = t \left[\frac{1}{2.400} \lambda^2 - 0,015 \right]$$

▼ Método de ampliación de momentos (MAM): Es una extrapolación del método propuesto por el ACI (American Concrete Institute), para el estudio de los elementos esbeltos de hormigón armado, al caso de muros de fábrica (simples o armados). Según tal método, un elemento esbelto biarticulado solicitado en sus extremos excéntricamente (e) por un axil (N), ve amplificado el momento de primer orden que solicita a su sección central por un factor: $1/(1 - P_u / P_{cr})$

El valor $P_{cr} = \pi^2 EI / h^2$ es la carga crítica de pandeo, donde " h " es la altura del elemento e " EI " su rigidez a flexión. En este estudio se ha adoptado un valor reducido para " EI ", según la propuestas que hace F. Yokel ($EI/3,5$ para fábricas simples, y $EI/2,5$ para fábricas armadas).

**TABLA 2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES SATURADOS ENSAYADOS
SEGUN UNE 41-172 [13]**

FASE	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA MEDIA (Mp)	RESISTENCIA MED. A COMPRESION (kp/cm ²)	
			S/ secc. bruta	S/ secc. neta
IV	193	43,9	80,4	149,5

Nota : Area bruta = 546 cm² // Area neta = 293,62 cm² (valores según geometría).

3.3. ANÁLISIS RESISTENTE DE MUROS PORTANTES CON ARMADURA

La norma británica B.S. 5628 [5] propone para muros armados esbeltos ($\lambda > 12$), incluir un momento flector adicional (M_a) dado por la expresión:

$$M_a = \frac{N(h_{ef})^2}{2.000t}$$

Si se pone la expresión de M_a en función de la excentricidad adicional (e_a), se obtiene:

$$\frac{e_a}{t} = \frac{\lambda^2}{2.000}$$

TABLA 3. DOSIFICACIÓN DEL MORTERO UTILIZADO

FASE	DOSIFICACIÓN (M-80)	RELACIÓN agua/cemento	CONSISTENCIA MEDIA (Cono de Abrams)
IV	Cemento = 1 Cal = 0,5 Arena = 4	1,18 - 1,24	18

4. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL REALIZADA

4.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES BÁSICOS

El tipo de bloque y las dosificaciones del mortero y del hormigón de relleno, utilizados en la pre-

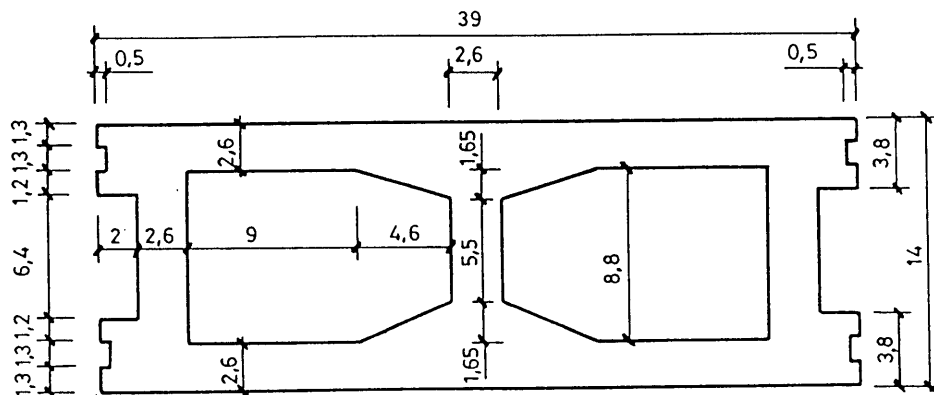


Figura 5.
Dimensiones del
bloque utilizado en
la investigación.

TABLA 4. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN DE RELLENO UTILIZADO

FASE	DOSIFICACIÓN	RELACIÓN AGUA/CEMENTO	CONSISTENCIA MEDIA (cm)
IV	Cemento = 1 Arena = 2,25 Arido grueso = 1	0,83 - 0,86	20,5

Figura 6. Refuerzo vertical para muros armados.



sente investigación, correspondientes a la Fase IV de [12], se indican en la figura 5 y Tablas del 2 al 4.

En cuanto a la armadura de los muros armados, ha sido distribuida tanto vertical como horizontalmente. Para la armadura vertical, se ha optado por utilizar un acero de 10 mm de diámetro

por cada alveolo del bloque. Este acero, distribuido a lo largo del eje del muro, conduce a una cuantía geométrica de 0,28%; mayor en un 40% del mínimo establecido en las normas (0,2 %). El tipo de acero ha sido el AEH-500S, con un límite elástico nominal de 6161,5 kp/cm².

En lo que respecta a la armadura horizontal, se ha colocado una celosía (tipo Murfor RND) en cada junta horizontal del mortero. El diámetro elegido ha sido de 4 mm, obteniéndose así una cuantía geométrica de 0,07 % (mínima establecida por las normas). Véase tabla 5

4.2. ELEMENTOS DE INVESTIGACIÓN

En base a las especificaciones de CEN / TC 125 N°63 [6], NCMA-TEK 108 [10] Y ASTM-E72 [2], se ha optado por ensayar muros de 1 m de longitud y 2,6 m de altura.

4.2.1. Construcción de Muros

Los muros han sido construidos en base a 13 hiladas (de dos bloques enteros y un medio bloque) con un espesor de junta, horizontal y vertical, de 1 cm. La primera hilada ha sido construida dentro de un perfil metálico, dispuesto para facilitar el transporte del muro al pórtico de carga y posibilitar la introducción de las cargas excéntricas.

En los muros armados, la armadura vertical ha sido de una sola pieza (véase figura 6). En lo que respecta al arriostramiento de los muros, durante el proceso constructivo, se llevó a cabo mediante un entramado de madera (véase figura 7).

4.2.2. Ensayo de Muros

Para el transporte de los muros y para asegurar su completa inmovilidad, se colocaron cerchas

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA ARMADURA DE JUNTA

TIPO	ANCHO (mm)	DIAMETRO ALAMBRE LONGITUDINAL (mm)	DIAMETRO ALAMBRE DIAGONAL (mm)	DISTANCIA ENTRE SOLDADURAS (mm)	SECCIÓN DE 2 ALAMBRES LONGITUDINALES (mm ²)
					
RND/Z	100	4	3,75	406	25



Figura 7.
Arriostreamiento
de muros.

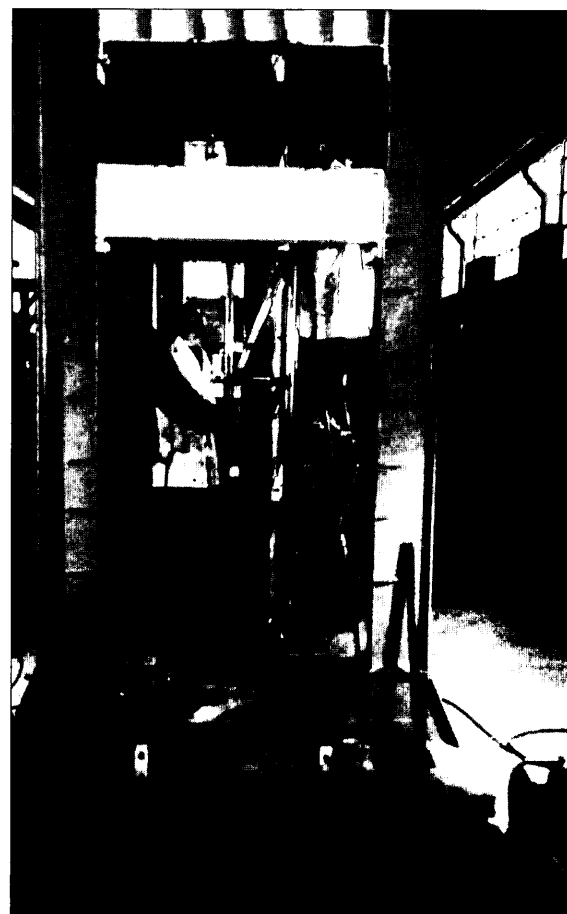
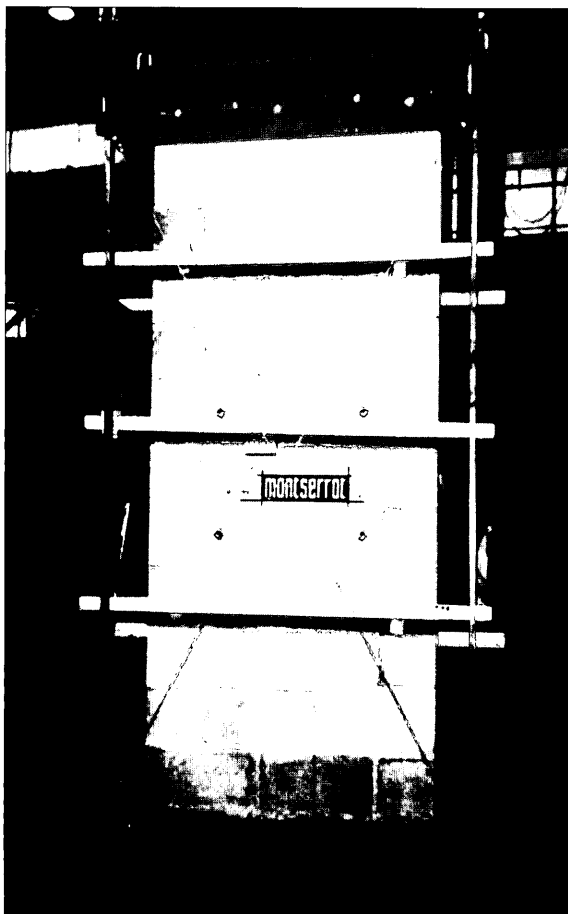


Figura 8. Transporte
de muros simples.
A la derecha, figura
9. Aproximación de
los muros al pórtico
de carga.

De izquierda a derecha y de arriba a abajo.

Figura 10.

Fisuración de muro simple, ensayado a carga centrada.

Figura 11. Rotura de muro simple ensayado a carga centrada.

Figura 12.

Zona comprimida, en rotura, de muro armado ensayado a una excentricidad:

$e=t/6$.

Figura 13. Zona traccionada, en rotura, de muro armado ensayado a una excentricidad:

$e=t/6$.

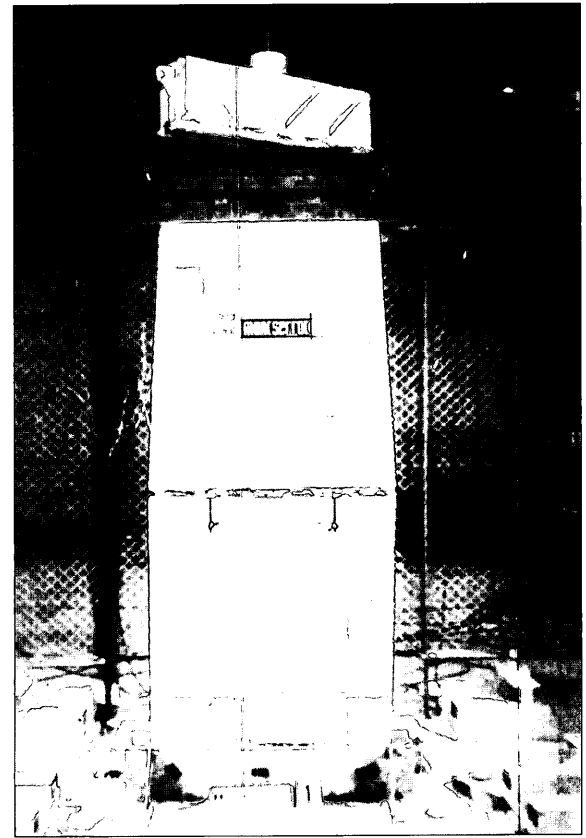
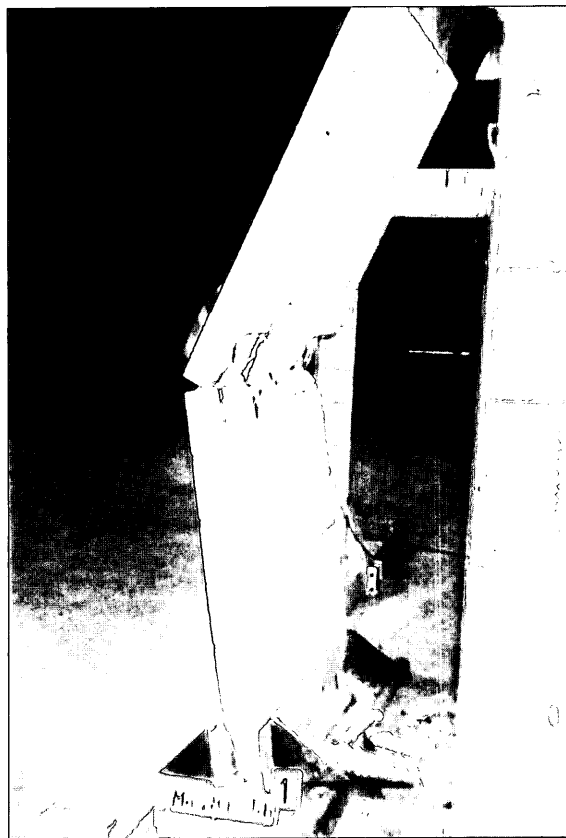


TABLA 6. RELACIÓN ENTRE LAS CARGAS DE ROTURA EXPERIMENTAL Y TEÓRICA EN MUROS SIMPLES

PROPUESTA DE CÁLCULO	CARGA DE ROTURA EXPERIMENTAL (Mp)	CARGA DE ROTURA TEÓRICA (Mp)	RELAC. "EXP./TEO."
EC-6: $P_u = 0 P_o$	100,1	74,2	1,35
BS: $P_u = \beta P_o$	100,1	78,8	1,27
YOKEL: $P_{cr} = \pi^2 E_i I / 3,5 h^2$	100,1	100,7	0,99

metálicas (en los costados) y tirantes de tesado (en las caras). En el caso de los muros simples fueron protegidos, además, mediante listones de madera (véase figuras 8 y 9).

En lo que respecta al sistema de carga, tanto para los ensayos centrados como para los excéntricos, la carga se transmitió a los cabezales de la "celda metálica" mediante un rodillo de 48 mm. de diámetro; en concordancia con el esquema establecido por NCMA TEK-108 [10]. La velocidad de carga fue establecida según la norma CEN/TC 125 N°63 [6]; la cual establece un tiempo para el ensayo entre 15 a 30 minutos.

De los ensayos de muros se ha podido observar que :

- Los muros simples ensayados a carga centrada desarrollan en sus caras laterales, antes de su rotura, fisuras verticales (véase figuras 10 y 11). Esto es debido a las tensiones de tracción que ejerce el mortero sobre los bloques.

- En los muros armados, para las excentricidades analizadas, la falla se produce por aplastamiento de la fábrica en su zona comprimida (véase figuras 12 y 13).

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE MUROS. CONFRONTACIÓN TEÓRICO-EXPERIMENTAL

5.1. MUROS SIMPLES SOMETIDOS A CARGA CENTRADA

La relación entre las cargas axiales de rotura experimental y teórica, para las distintas propuestas, es cuantificada en la Tabla 6. En esta se ob-

serva que los valores que se obtienen experimentalmente son mayores, en un 27 y un 35%, a los deducidos según BS y EC-6; siendo la propuesta de YOKEL ligeramente mayor (en un 1%) al resultado experimental.

5.1.1. Coeficiente de paso "Muro/Prisma Simple", para carga centrada.

El coeficiente de paso experimental para la esbeltez en estudio ($\lambda=18,6$), entre la resistencia a compresión de los muros (sobre su área efectiva o bruta) y el correspondiente a prismas [3] simples de tres unidades, es igual a 0,75 (véase tabla 7). En [12] se recogen unos ensayos, paralelos a estos, realizados con muretes de 1m de altura ($\lambda=7,1$); en donde se obtuvo un coeficiente de paso murete-prisma simples de 0,72, similar al ahora

TABLA 7. COEFICIENTE DE PASO, EN RESISTENCIA MEDIA A COMPRESIÓN, ENTRE MUROS SIMPLES (MS) Y PRISMAS SIMPLES DE TRES UNIDADES (P3) [FASE IV]

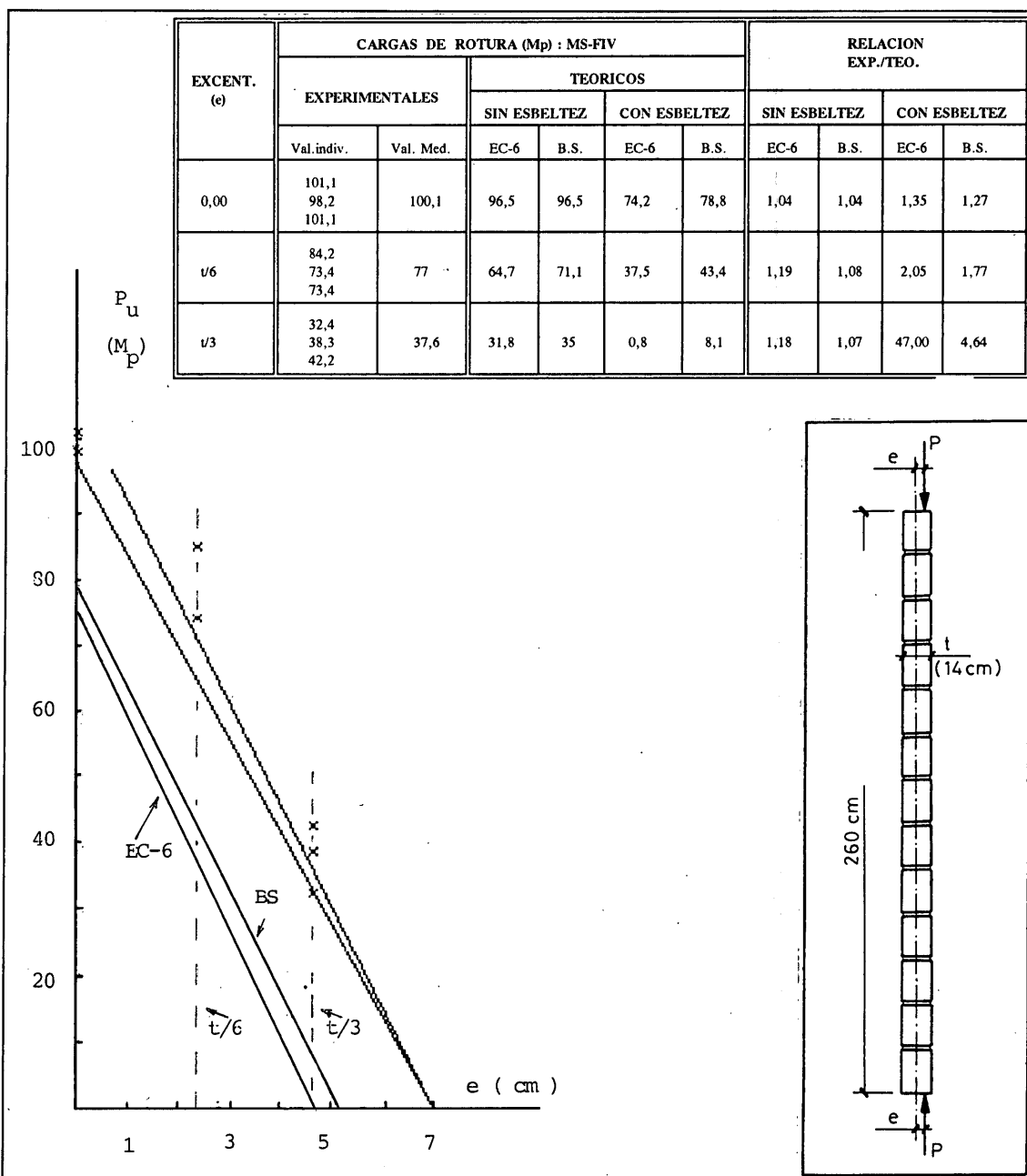
TIPO DE ÁREA TRANSV.*	RESIST. EXP. MEDIA (Kp/cm ²)		COEF. DE PASO: MS/P3
	MS	P3	
EFFECTIVA	135	179,8	0,75
BRUTA	72,2	96,7	

(*) Sección bruta MS = 99 x 14 cm² . // Sección efectiva MS = $\sum$ Áreas netas de bloques.

Figura 14.
Valores (P_u),
experimentales
y teóricos, para
diferentes
excentricidades
(e) de la carga
aplicada a
"muros simples"
de (1,0 x 2,6) m²
ensayados en
seco
[$f'_m = 0,72 f'_m (P_3)$].

DIAGRAMAS DE INTERACCION PARA "MUROS SIMPLES"

- Valores experimentales MS - SE - FASE IV : (x)
- Propuestas de EC-6 y BS-5628 : (—)



DIAGRAMAS DE INTERACCION PARA "MUROS SIMPLES"

- Valores experimentales MS - SE - FASE IV : (x)
- Propuestas de YOKEL (a = variable) : (—)

EXCENT. (e)	CARGAS DE ROTURA (Mp) : MS-FIV								RELACION EXP./TEO.					
	EXPERIMENTALES		PROPUESTA YOKEL : $f_m = 0,66 f_m (P3)$											
			SIN ESBELTEZ			CON ESBELTEZ								
	Val.Indiv.	Val.Media	a=1,1	a=1,3	a=1,5	a=1,1	a=1,3	a=1,5	a=1,1	a=1,3	a=1,5	a=1,1	a=1,3	a=1,5
0,00	101,1 98,2 101,1	100,1	96,5	96,5	96,5	100,7	100,7	100,7	1,04	1,04	1,04	0,99	0,99	0,99
u/6	84,2 73,4 73,4	77	61,8	70,4	78,2	42,9	45,9	49	1,25	1,09	0,98	1,79	1,68	0,64
u/3	32,4 38,3 42,2	37,6	33,8	40,5	46,3	18,6	20,2	21,4	1,11	0,93	0,81	2,02	1,86	1,76

Figura 15.
Valores (P_u),
experimentales
y teóricos, para
diferentes
excentricidades
(e) de la carga
aplicada a
"muros simples"
de $(1,0 \times 2,6) m^2$
ensayados en
seco
[$f'_m = 0,66 f'_m (P3)$].

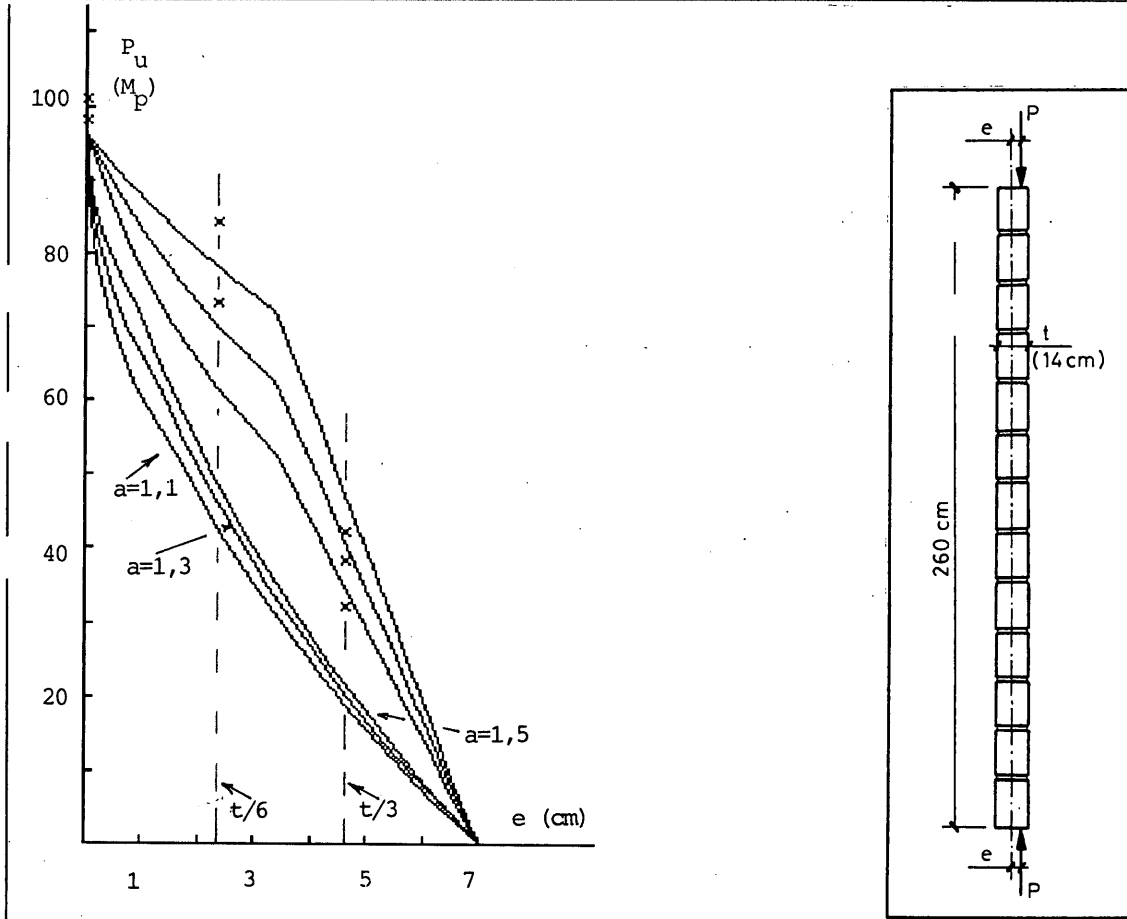
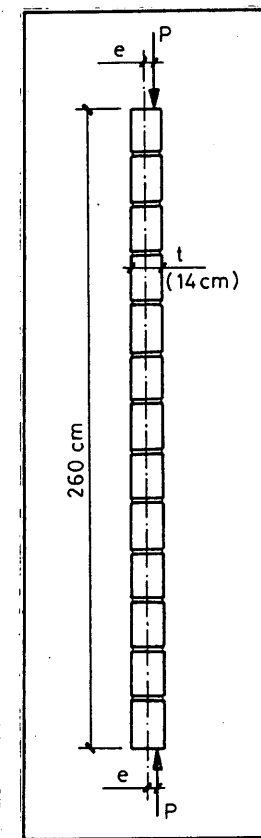
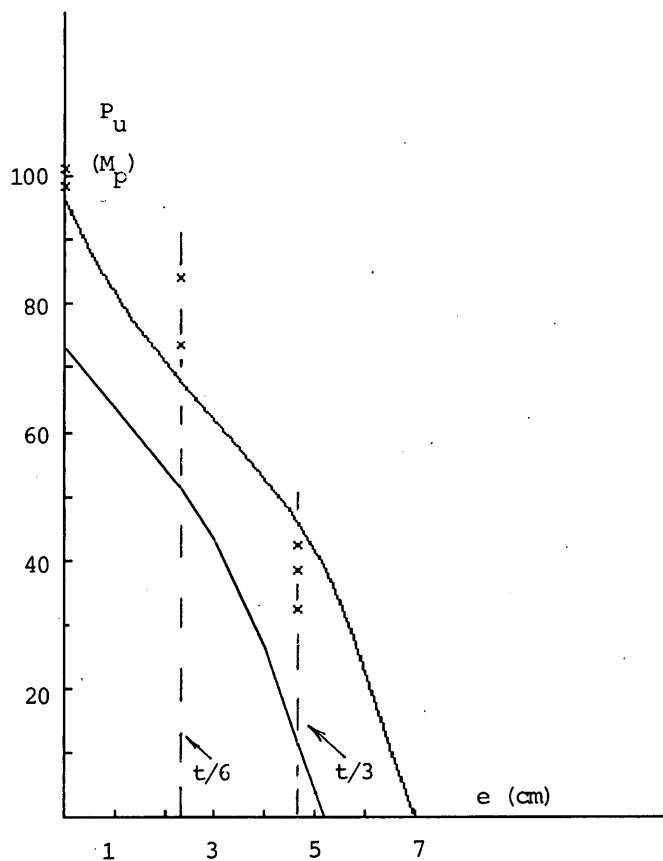


Figura 16.
Valores (P_u),
experimentales
y teóricos, para
diferentes
excentricidades
(e) de la carga
aplicada a
"muros simples"
de $(1,0 \times 2,6) \text{ m}^2$
ensayados en
seco
[$f'_m = 0,66 f_m (P3)$].

DIAGRAMAS DE INTERACCION PARA "MUROS SIMPLES"

- Valores experimentales MS - SE - FASE IV : (x)
- Propuesta PGCF : (—)

EXCENT. (e)	CARGAS DE ROTURA (Mp) : MS-FIV				RELACION EXP./TEO	
	EXPERIMENTALES		Teoria PGCF			
	Val. Indiv.	Val. med.	Sin esbeltez	Con esbeltez	Sin esbeltez	Con esbeltez
0,00	101,1 98,2 101,1	100,1	96,5	72,9	1,04	1,37
u/6	84,2 73,4 73,4	77	67,5	51,4	1,15	1,50
u/3	32,4 38,3 42,2	37,6	46,3	11,6	0,81	3,24



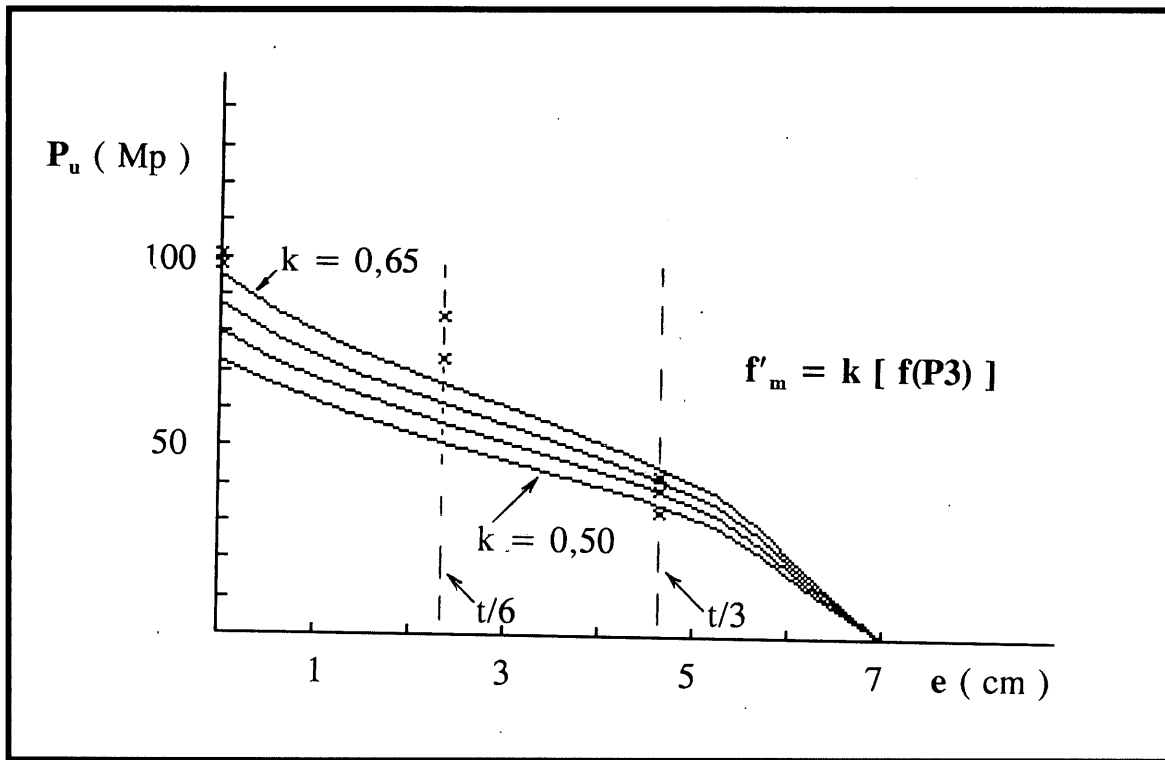


Figura 17. Diagramas de interacción de la sección del muro simple, obtenidos a partir de minorar: entre el 50 y el 65%, la resistencia a compresión de prismas simples de tres unidades. Confrontación con las cargas experimentales de rotura (X) de muros simples ($\lambda=18,6$).

encontrado. Se concluye pues que no se ha encontrado mayor influencia de la esbeltez en la resistencia de los muros simple ensayados a carga centrada.

5.2. MUROS SIMPLES SOMETIDOS A CARGAS EXCÉNTRICAS

5.2.1. Diagramas de interacción dimensionales, para muros simples, a partir de la resistencia a compresión de prismas simples

En las figuras 14 a 16 se han dibujado diagramas de interacción "P#e" para muros simples, con y sin efecto de esbeltez, así como sus cargas de rotura obtenidas experimentalmente. Las consideraciones que se han tenido en cuenta para elaborar dichos diagramas, han sido las siguientes:

▼ Se ha considerado como resistencia a compresión de la fábrica -para obtener los diagramas de interacción de la sección efectiva del muro- la resistencia a compresión de prismas simples de tres unidades, minorada por el coeficiente "Murete/Prismas simples" referido. Para ello se han seguido los criterios de cálculo de secciones expuestos en las diferentes Normativas que se contemplan y que pueden consultarse en [12].

▼ Los diagramas de interacción que tiene en cuenta el efecto de esbeltez han sido elaborados: A partir de los coeficientes reductores ϕ y β , para el caso de las normas EC-6 [7] y BS [4]; en base al método de ampliación de momentos, para la propuesta de YOKEL [15]; y a partir de la excentricidad adicional (ea) propuesto por BS [4], para el programa PGCF [14]. Este último está basado en el método general de cálculo de secciones armadas y es aplicable, al considerar una cuantía de acero igual a cero, a secciones simples.

5.2.2. Valoración global del análisis de muros simples solicitados por cargas excéntricas

En base a la información registrada en las figuras 14 a 16, para la esbeltez estudiada ($\lambda=18,6$), se llega a las siguientes conclusiones:

Es conservador analizar los muros simples, a partir de las propuestas de diagramas de interacción con efecto de esbeltez.

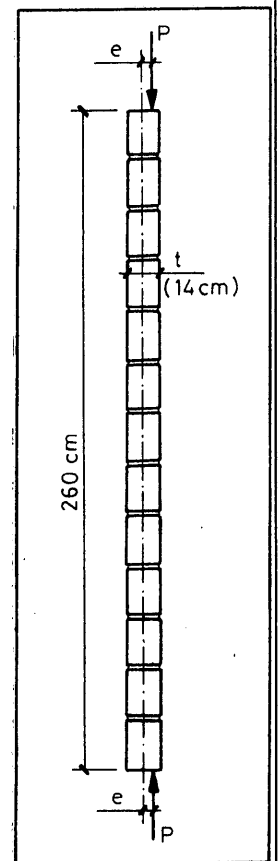
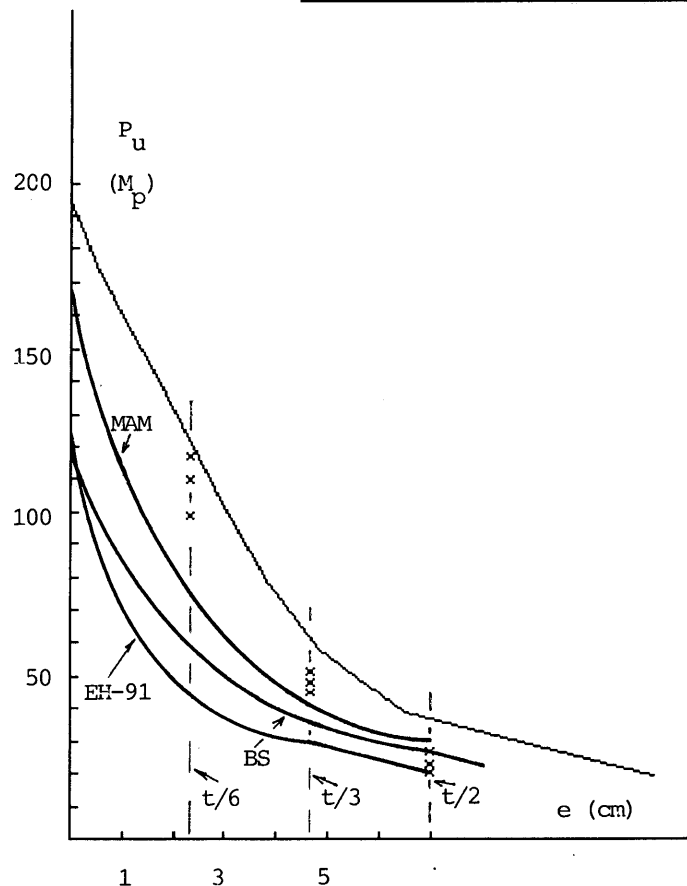
Resulta razonable evaluar las cargas excéntricas de rotura, a excepción del PGCF (para $e=t/3$), sólo a partir del diagrama de interacción de la sección efectiva del muro simple (sin efecto de esbeltez). Las mejores aproximaciones que se logran, son las siguientes:

Figura 18.
Valores (P_u),
experimentales
y teóricos, para
diferentes
excentricidades
(e) de la carga
aplicada a
"muros
armados"
de (1,0 x 2,6) m²
ensayados
en seco
[$f_{m(PR3)}=128,8$
 K_p/cm^2].

DIAGRAMAS DE INTERACCION PARA "MUROS ARMADOS"

- Valores experimentales MA - SE - FASE IV : (x)
- Propuesta de: BS, EH-91, MAM. : (—)

EXCENT. (e)	CARGAS DE ROTURA (Mp) : MA - FIV					RELACION EXP./ TEO.		
	EXPERIMENTALES		TEORICOS					
	Val. indiv.	Val. Med.	BS	EH-91	MAM	BS	EH-91	MAM
1/6	98,7 110,0 116,8	108,5	59,6	45,2	75,0	1,82	2,40	1,45
1/3	45,2 51,5 48,1	48,3	36,5	30,8	41,3	1,32	1,57	1,17
1/2	27,0 23,1 20,3	23,6	27,0	20,6	31,2	0,87	1,15	0,76



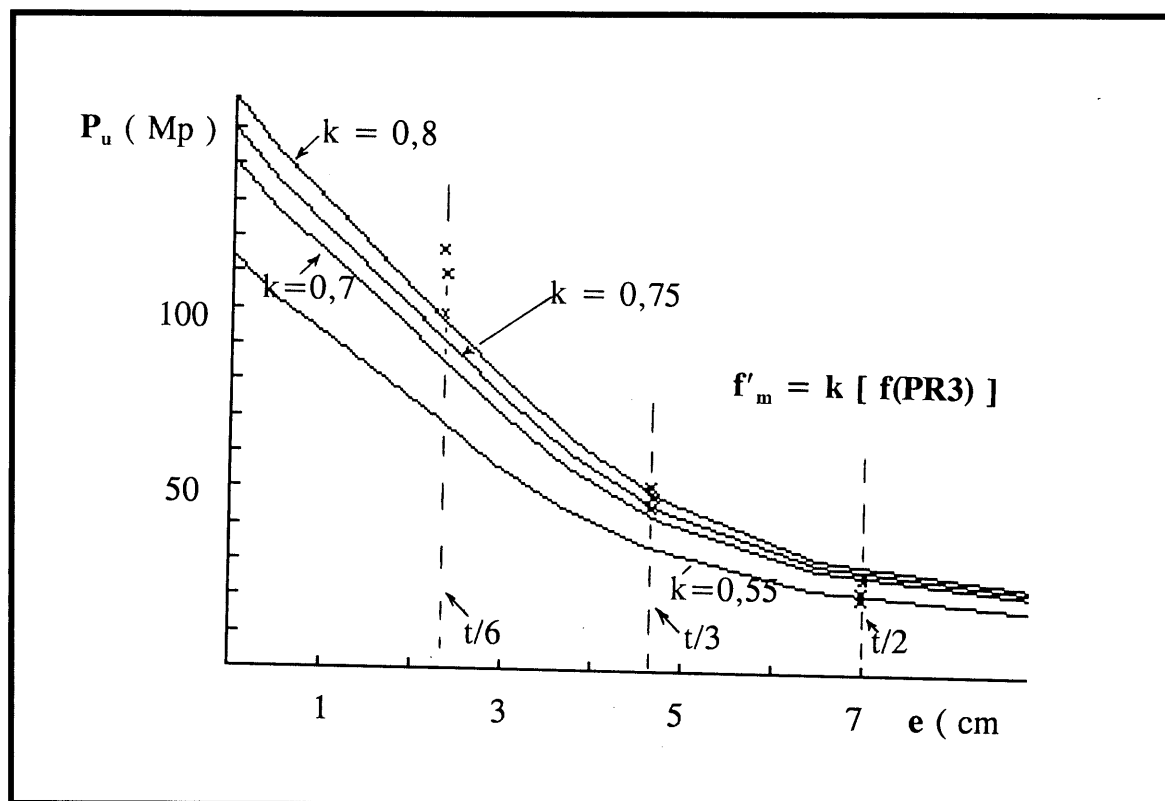


Figura 19.
Diagramas de interacción de la sección del muro armado, obtenidos a partir de minorar: entre el 55 y el 80%, la resistencia a compresión de prismas rellenos de tres unidades. Confrontación con las cargas experimentales de rotura (X) de muros simples ($\lambda=18,6$).

▼ Para la excentricidad de $t/6$, la relación entre las cargas de rotura experimental y teórica varía entre 1,08 (B.S.) y 1,19 (EC-6).

▼ Para la excentricidad de $t/3$, la relación entre las cargas de rotura experimental y teórica varía entre 1,07 (B.S.) y 1,18 (EC-6).

5.2.3. Coeficiente de paso "Muro/Prisma Simples", para cargas excéntricas

En la figura 17 se muestran diagramas de interacción para la sección efectiva del muro simple, obtenidos con PGCF [14] a partir de considerar - como resistencia a compresión de la fábrica- distintas minoraciones de la resistencia a compresión de prismas simples de tres unidades; indicándose, además, sus cargas excéntricas de rotura obtenidas experimentalmente. La conclusión a la que se llega, de dicha figura, es la siguiente:

▼ Puede evaluarse las cargas excéntricas de rotura de muros simples ($\lambda = 18,6$), a partir del diagrama de interacción de su sección efectiva; siempre que se minore la resistencia a compresión de prismas simples de tres unidades: En un 65% para excentricidades entre 0 y $t/6$, y en un 50% para excentricidades entre $t/6$ y $t/3$.

5.3. MUROS ARMADOS A CARGA EXCÉNTRICA

5.3.1. Diagramas de interacción dimensionales, para muros armados, a partir de la resistencia a compresión de prismas rellenos

En la figura 18 se han dibujado diagramas de interacción "P # e" para muros armados, con y sin efecto de esbeltez, así como sus cargas de rotura obtenidas experimentalmente. Las consideraciones que se han tenido en cuenta para elaborar dichos diagramas, han sido las siguientes:

▼ Se ha considerado como resistencia a compresión de la fábrica -para obtener los diagramas de interacción de la sección efectiva del muro (sin efecto de esbeltez)- la resistencia a compresión de prismas rellenos de tres unidades.

▼ Los diagramas de interacción que consideran el efecto de esbeltez surgen de incrementar, a los valores "e" del diagrama de interacción de la sección del muro armado, las "excentricidades adicionales" que consideran las propuestas analizadas.

5.3.2. Valoración global del análisis de muros armados solicitados por cargas excéntricas

En base a la información registrada en la figura 18, para la esbeltez estudiada ($\lambda=18,6$), se llega a las siguientes conclusiones:

▼ Mediante el diagrama de interacción para la sección del muro armado, obtenido a partir de la resistencia a compresión de prismas rellenos de tres unidades, no se debe evaluar la resistencia a cargas excéntricas de dichos muros; de hacerlo se estaría sobrevalorando su resistencia.

▼ Es conservador analizar a los muros armados, para las propuestas desarrolladas, a partir de los diagramas con efecto de esbeltez. Las relaciones "EXP./TEO." más razonables obtenidas corresponden al método de ampliación de momentos (MAM): 1,45 ($e = t/6$) y 1,17 ($e = t/3$), y a la propuesta denominada EH-91: 1,15 para ($e = t/2$).

5.3.3. Coeficiente de paso "Muro Armado/Prisma Relleno" para cargas excéntricas

En la figura 19 se muestran diagramas de interacción para la sección del muro armado, obtenidos con PGCF [14] a partir de considerar -como resistencia a compresión de la fábrica- distintas minoraciones de la resistencia a compresión de prismas rellenos de tres unidades; indicándose, además, sus cargas excéntricas de rotura obtenidas experimentalmente. La conclusión a la que se llega, de dicha figura, es la siguiente:

▼ Puede evaluarse las cargas de rotura de muros armados ($\lambda=18,6$), mediante el diagrama de interacción de su sección, a partir de minorar la resistencia a compresión de prismas rellenos de tres unidades: En un 75% para excentricidades entre $t/6$ y $t/3$, y en un 55% para excentricidades entre $t/3$ y $t/2$.

6. CONCLUSIONES

6.1. CON RESPECTO AL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE MUROS SIMPLES

6.1.1. Muros simples sometidos a carga centrada

Para los muros simples ensayados, los valores teóricos analizados -de resistencia a compresión-

son en su mayoría conservadores; así se tiene que:

▼ El valor obtenido experimentalmente, es mayor: En un 27% al propuesto por BS [4], y en un 35% al del EC-6 [7]. La propuesta que mejor se ajusta, un 1% mayor que el obtenido en los ensayos, es la de YOKEL [16].

El valor experimental del coeficiente de paso que relaciona las resistencias a compresión: "Muro simple ($\lambda=18,6$)/Prisma simple de tres unidades", sobre las áreas efectivas o brutas de ambos, es igual a 0,75.

6.1.2. Muros simples sometidos a cargas excéntricas

Es muy conservador analizar, según las teorías contempladas, las cargas excéntricas de rotura de los muros simples ensayados, a partir de los diagramas de interacción que tiene en cuenta el efecto de su esbeltez. La relación entre las cargas de rotura experimentales y teóricas están por encima de 1,5.

Resulta razonable evaluar las cargas excéntricas de rotura de los muros simples ensayados, a excepción de PGCF (para $e=t/3$), en base al diagrama de interacción de su sección efectiva. Bajo este contexto, si se analizan las propuestas que mejor se aproximan a los valores experimentales, se tiene que:

▼ Los valores experimentales (del muro) son mayores que los teóricos (de la sección): Entre el 8% (B.S.) y el 9% (YOKEL: $a=1,3$) para la excentricidad de $t/6$, y entre el 7% (B.S.) y el 11% (YOKEL: $a=1,1$) para la excentricidad de $t/3$.

Los diagramas de interacción del área efectiva del muro simple ($\lambda=18,6$) que mejor se aproximan a sus cargas excéntricas de rotura, son aquellas que se obtienen a partir de minorar la resistencia a compresión de prismas simples de tres unidades: En un 65% para excentricidades entre 0 y $t/6$, y en un 50% para excentricidades entre $t/6$ y $t/3$.

6.2. CON RESPECTO AL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE MUROS ARMADOS SOMETIDOS A CARGAS EXCÉNTRICAS

No deben evaluarse las cargas excéntricas de rotura de muros armados ($\lambda=18,6$) a partir del dia-

grama de interacción de su sección, cuando se toma como su resistencia a compresión la de prismas rellenos de tres unidades. Dicho diagrama brinda valores mayores que los experimentales; es así que las relaciones que se obtienen, entre los valores experimentales y teóricos (de su sección), son: 0,90 para $e = t/6$; 0,77 para $e = t/3$; y 0,64 para $e = t/2$.

Es conservador analizar las cargas excéntricas de rotura de los muros armados ($\lambda=18,6$), a partir de las propuestas de diagramas de interacción con efecto de esbeltez. Las relaciones más razonables entre los valores experimentales y los que se obtienen de dichos diagramas, son: 1,45 para $e=t/6$ y 1,17 para $e=t/3$, para el método de ampliación de momentos (MAM); y 1,15 para $e=t/2$, para la propuesta denominada EH-91.

Los diagramas de interacción de la sección del muro armado ($\lambda=18,6$) que mejor se aproximan a sus cargas excéntricas de rotura, son aquellos que se obtienen a partir de minorar la resistencia a compresión de prismas rellenos de tres unidades: En un 75% para excentricidades entre $t/6$ y $t/3$, y en un 55% para excentricidades entre $t/3$ y $t/2$.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACI-531 (Rev. 1983). "Building Code Requirements for Concrete Masonry Structures". American Concrete Institute. 1983.
- [2] ASTM E72-80. "Standard Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Constructions". 1980.
- [3] ASTM E447-84. "Standard Test Methods for Compressive Strength of Masonry Prisms". 1984.
- [4] BS 5628 (Part 1). "Code of Practice for Use of Masonry: Structural Use of Unreinforced Masonry". 1978.
- [5] BS 5628 (Part 2). "Code of Practice for Use of Masonry: Structural Use of Reinforced and Prestressed Masonry". 1985.
- [6] CEN/TC 125 N63. "Draft European Standard-Masonry-Methods of Test". 1990.
- [7] EUROCODE EC6 (Part 1). "Common Unified Rules for Unreinforced Masonry Structures". Commission of the European Communities. Brussels, 1988.
- [8] EUROCODE EC6 (Part 2). "Common Unified Rules for Reinforced Masonry Structures". Commission of the European Communities. Brussels, 1989.
- [9] NCMA. National Concrete Masonry Association. "Specification for the Design and Construction of Load-bearing Concrete Masonry". P.O. BOX 781, Herndon, Virginia 22070, USA. 1987.
- [10] NCMA-TEK 108. "Testing Concrete Masonry Assemblages". 1979.
- [11] ROBERTS, J.J.; TOVEY, A.K.; CRANSTON, W.B. & BEEBY, A.W. "Concrete Masonry Designer's Handbook". A Viewpoint Publication. Surrey, 1983.
- [12] TUESTA, N. F. "Estudio teórico-experimental de la resistencia de Estructuras de Fábrica de Bloques de Hormigón, con o sin armaduras, sometidas a flexo-compresión transversal a su plano". Tesis Doctoral. E.T.S.I.C.C.P. de Santander. Universidad de Cantabria. 1992.
- [13] UNE 41-172-89. "BLOQUES DE HORMIGÓN: Método de Ensayo para Determinar la Resistencia a la compresión". Asociación Española de Normalización (AENOR). 1989.
- [14] VILLEGAS, L. "Análisis en teoría de segundo Orden de Pilas Altas de Viaductos. Aplicación al Proyecto de Pilas de Puentes Construidos por Avance en Voladizo". Tesis Doctoral. E.T.S.I.C.C.P. de la Universidad de Cantabria. 1981.
- [15] YOKEL, F.Y.; MATHEY, R.G. & DIKKERS, R.S. "Compressive Strength of Slender Concrete Masonry Walls". U.S. Nat. Bur. Stand. (Bldg. Sci. Ser 33). Dic. 1970.
- [16] YOKEL, Y. & DIKKERS, R. "Strength of Load Bearing Masonry Walls". 1971. ●