

## ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA RESISTENCIA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA SOMETIDOS A CARGAS HORIZONTALES\*

Luis JORQUERA G.\*\*

### RESUMEN

*Se ensayaron muros de albañilería de 2,40 x 2,40 m sometidos a una carga horizontal aplicada con un gato hidráulico sobre la cadena superior del muro. El volcamiento se impidió por medio de un tirante vertical solidario al dispositivo de ensayo. El tirante se aplicó, en algunos casos, sobre la cadena superior junto al lugar de aplicación de la carga horizontal (ensayo de compresión diametral); y en otros, sobre la viga inferior sobre la cual fue construido el muro (sistema de carga en voladizo). Las unidades empleadas fueron ladrillos de arcilla cocida moldeados a mano (de chonchón), ladrillos de arcilla cocida moldeados a máquina huecos y macizos, ladrillos sílico calcáreos, ladrillos de hormigón silíceo y bloques huecos de hormigón. Los muros fueron de albañilería simple, albañilería armada y albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado. Se usó mortero de cemento: arena en proporciones 1:3 y 1:6 en volumen.*

*Se hicieron también ensayos de compresión sobre muros de 1,20 x 2,40 m de albañilería simple y muretes de albañilería armada.*

*Los resultados permiten establecer comparaciones entre los distintos tipos de muros ensayados en cuanto a sus resistencias y rigideces.*

### 1.- INTRODUCCION

La determinación de la resistencia y de la rigidez de muros de albañilería sometidos a la acción de cargas verticales y horizontales en su plano es de especial interés en Chile, dado su frecuente empleo en estructuras antisísmicas.

---

\*Este trabajo fue presentado en las Primeras Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, julio 1963. El autor lo ha revisado en general y ha introducido algunas modificaciones.

\*\*Ingeniero del IDIEM. Jefe de la Sección Elementos Prefabricados.

Además, han aparecido en el mercado nacional en los últimos años, nuevas unidades para albañilería cuya calidad y comportamiento deben ser comparados con los de unidades tradicionales.

La información que puede obtenerse de ensayos de muros a escala prácticamente natural es importante como una base para las especificaciones de las normas de fabricación de los elementos, y de ejecución y cálculo de los muros. Los ensayos efectuados en Chile con anterioridad a los que se describen en el presente trabajo son escasos y no abordan el problema de manera sistemática<sup>1,2</sup>. Los ensayos efectuados en el extranjero son numerosos en lo que a compresión se refiere<sup>3,4,9,10,15,17</sup>. Las experiencias sistemáticas más importantes referentes a muros sometidos a cargas horizontales son las realizadas por Benjamin<sup>6,7</sup>; existen, además, las experiencias del U.S. National Bureau of Standards y otras que se citan entre las referencias<sup>8,14</sup>. Hay otras experiencias que a pesar de perseguir un objetivo diferente agregan información interesante sobre el problema<sup>5,9,11</sup>.

A pesar de que las publicaciones citadas contienen un acervo muy grande de información, su aplicación al caso chileno no se puede hacer directamente ya que en nuestro país la calidad de las unidades es diferente, prácticamente no se utiliza el mortero de cal y se ha extendido mucho el empleo del muro de albañilería simple reforzado con pilares y cadenas de hormigón armado.

El presente trabajo da cuenta de las experiencias realizadas en el IDIEM durante los años 1960 a 1963.

Las experiencias efectuadas en el IDIEM comprenden ensayos de compresión y ensayos con carga horizontal. Estos últimos se han efectuado de dos maneras que difieren en la forma como se liga el muro al dispositivo de ensayo para evitar su volcamiento:

(a) En un caso, Fig. 1, el volcamiento se impide mediante tirantes verticales aplicados en el borde superior del muro cerca de la esquina que recibe la carga horizontal, de tal modo que el muro queda sometido a cargas que son asimilables aproximadamente a dos fuerzas iguales y contrarias dirigidas según una diagonal; por esta razón lo llamamos ensayo de compresión diagonal.

(b) En el otro modo de ensayo, se impide el volcamiento mediante tirantes verticales aplicados al borde superior de la viga inferior que sirve de base al muro, Fig. 1; en esta forma el muro mismo queda sometido a una carga horizontal aplicada en uno de los bordes verticales cerca de la esquina superior; lo llamamos ensayo con carga en voladizo.

Los muros ensayados se agrupan en tres series: muros de albañilería simple, muros de albañilería reforzada y muros de albañilería armada.

Los muros de albañilería simple no llevan ninguna clase de refuerzo destinado a absorber las cargas, excepto una cadena en el borde superior, cuyo

oficio es recibir y repartir las cargas de ensayo. Se ha dado el nombre de muros de albañilería reforzada a aquellos que están formados por un paño de albañilería simple flanqueado en sus dos extremos por pilares de hormigón armado y por una cadena de hormigón armado en el borde superior. Se ha llamado muros de albañilería armada a los que llevan incluidos refuerzos de acero en el mortero y para los cuales se considera en el cálculo que el mortero, las unidades y el acero resisten en conjunto las sollicitaciones.

En cada serie se ensayaron muros formados por diferentes tipos de unidades, Fig. 2, que son de uso corriente en Chile. El mortero empleado fue de cemento y arena en dos proporciones: 1:3 y 1:6, en volumen.

Se hicieron también ensayos para determinar las características de las unidades empleadas, de los morteros, del hormigón usado en pilares y cadenas y del acero de las armaduras.

El número total de muros ensayados fue de ciento seis, cuarenta y dos a compresión y sesenta y cuatro a cargas horizontales. Se ensayaron muros de albañilería simple a compresión, y compresión diagonal. Muros de albañilería reforzada a compresión diagonal y con carga en voladizo. Muros de albañilería armada a compresión diagonal, carga en voladizo y compresión.

## MATERIALES

Las características de los materiales empleados - unidades, mortero, hormigones y acero - se han establecido mediante los ensayos especificados por las normas INDITECNOR<sup>20</sup> que corresponde aplicar en cada caso, excepto para los morteros y para algunos tipos de unidades para albañilería. Los resultados aparecen en las tablas I a VI. Para juzgar la calidad de estos materiales dentro de la fabricación nacional véanse referencias<sup>12, 19</sup>

En el caso del mortero, se hicieron pruebas de compresión a los 28 días en cubos de 7 cm de arista. El mortero de estas pruebas fue el mismo que se empleó en la fabricación de los muros, el proceso de curado fue similar y no se compactó en forma especial al colocarlo en los moldes.

Para los ladrillos sílico-calcáreos se aplicaron los métodos de ensayo especificados para ladrillos macizos de arcilla cocida, por no existir normas INDITECNOR para su ensayo. El tipo de cemento utilizado correspondió en todos los casos al especificado en la norma INDITECNOR 30-92 ch "Cementos con agregado tipo A".

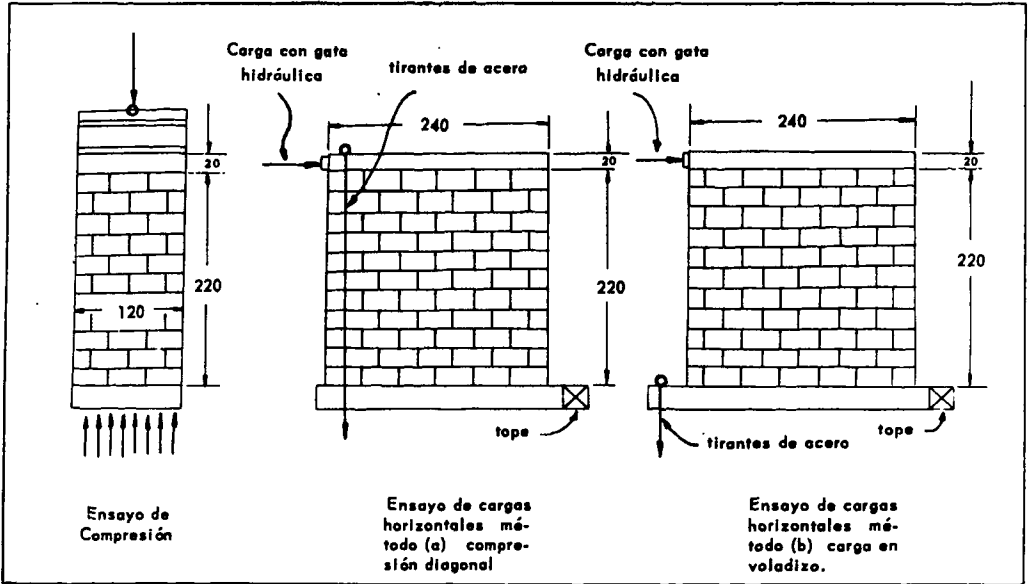


Fig. 1. Métodos de ensayo de los muros

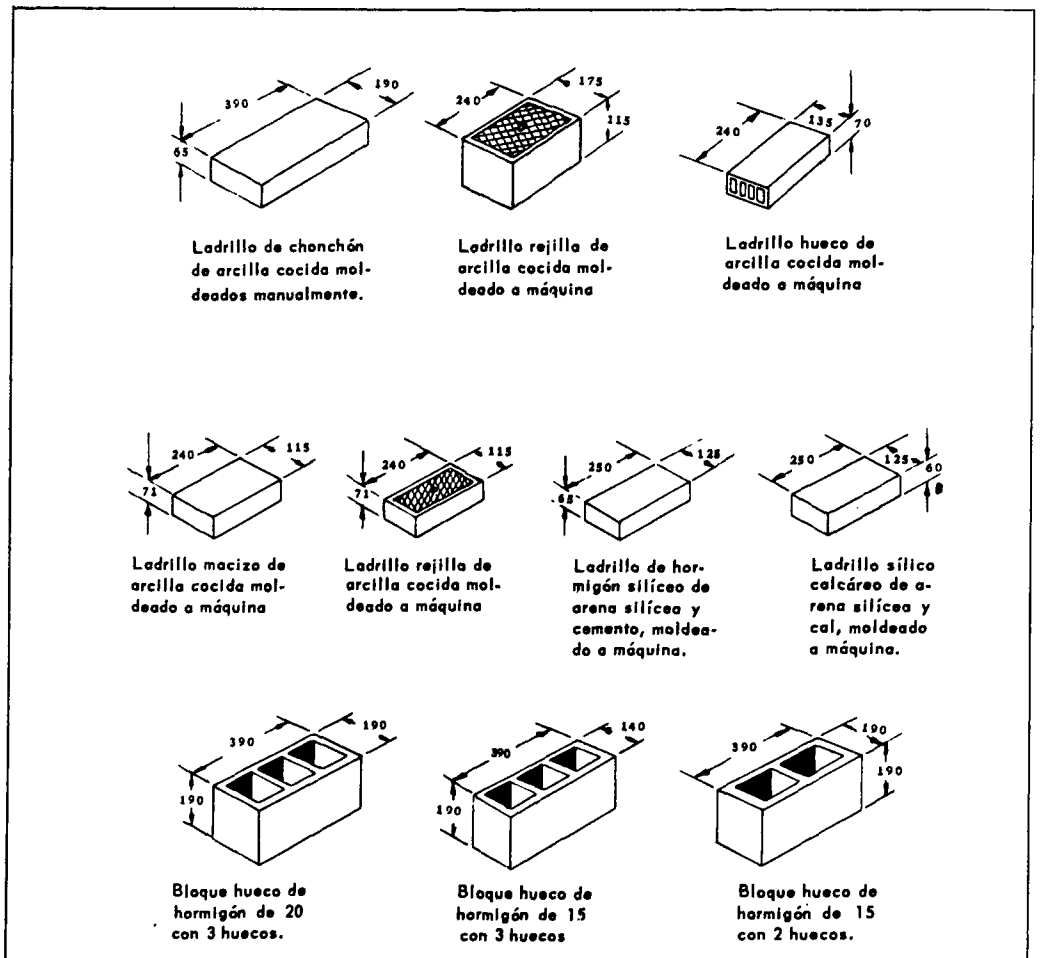


Fig. 2. Unidades empleadas para construir los muros

TABLA I

CARACTERISTICAS DE LOS LADRILLOS Y BLOQUES EN LOS MUROS DE ALBAÑILERIA SIMPLE

\* Ensayos realizados según las normas INDITECNOR 30-54 ch, 30-154 y 30-150 ch<sup>13</sup>.

| Tipo de unidad**          | Designación de muros correspondientes | Resistencia compresión kg/cm <sup>2</sup> ** | Adherencia kg/cm <sup>2</sup> ** | Absorción en peso o l/m <sup>3</sup> ** | Dimensiones nominales mm |
|---------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------------|---|--------------------------|
| Ladrillo de chonchón      | Ch 3s                                 | 32 (25)                                      | 1,9 (15)                         | 23 % (5)                                | 65x190x390               |
| Ladrillo de chonchón      | Ch 6s                                 | 38 ( 5)                                      | 1,1 ( 3)                         | 19 % (2)                                | 65x190x390               |
| Ladrillo macizo           | M 3s                                  | 156 (25)                                     | 3,7 (15)                         | 14 % (5)                                | 71x115x240               |
| Ladrillo macizo           | M 6s                                  | 154 ( 5)                                     | 4,0 ( 3)                         | - - - -                                 | 71x115x240               |
| Ladrillo rejilla          | R 3s                                  | 106 (20)                                     | 4,1 ( 9)                         | 13 % (5)                                | 115x175x240              |
| Ladrillo rejilla          | R 6s                                  | 106 ( 5)                                     | 8,9 ( 3)                         | 14 % (2)                                | 115x175x240              |
| Ladrillo hueco            | H 3s                                  | 25 ( 5)                                      | 2,3 ( 3)                         | 13 % (2)                                | 70x135x240               |
| Ladrillo sílico-calceúo   | Si Ca 3s                              | 67 (10)                                      | 4,0 ( 3)                         | 25 % (2)                                | 60x125x250               |
| Ladrillo hormigón silíceo | Ho Si 3s                              | 50 (10)                                      | 1,8 ( 3)                         | - - - -                                 | 65x120x250               |
| Bloque de hormigón de 15  | B 3s de 15                            | 41 (10)                                      | 6,8 ( 3)                         | 163 c/m <sup>3</sup> (2)                | 140x190x390              |
| Bloque de hormigón de 20  | B 3s de 20                            | 49 (10)                                      | 7,2 ( 3)                         | 156 c/m <sup>3</sup> (2)                | 190x190x390              |

\* Ver Fig. 2.

\*\*Valores promedios; corresponden al número de ensayos que se da entre paréntesis.

TABLA II

CARACTERISTICAS DE LOS LADRILLOS EMPLEADOS EN LOS MUROS DE ALBAÑILERIA REFORZADOS CON PILARES Y CADENAS

Ensayos realizados según la norma INDITECNOR 30-54 ch<sup>13</sup>. Todas las unidades son de arcilla cocida.

| Tipo de unidad*   | Resistencia compresión kg/cm <sup>2</sup> ** | Adherencia kg/cm <sup>2</sup> ** | Absorción % en peso** | Dimensiones nominales mm |
|-------------------|--|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Ladrillo chonchón | 39 (5)                                       | 3,6 (3)                          | 18 (1)                | 65x190x390               |
| Ladrillo rejilla  | 76 (5)                                       | 5,6 (3)                          | 16 (4)                | 115x175x240              |
| Ladrillo macizo   | 109 (5)                                      | 4,6 (3)                          | 17 (3)                | 71x115x240               |

\* Ver Fig. 2.

\*\*Valores promedios; corresponden al número de ensayos que se da entre paréntesis.

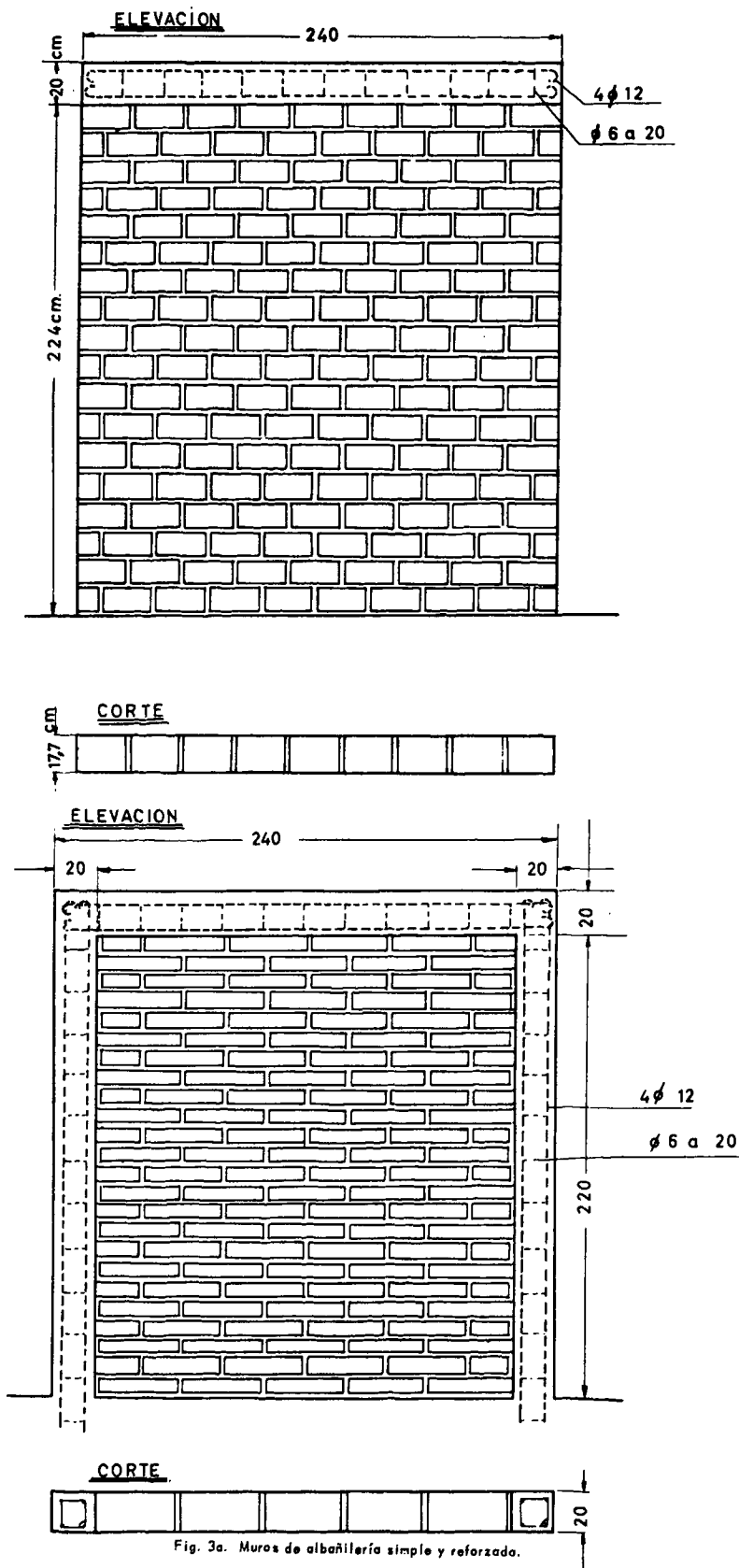


Fig. 3a. Muros de albañilería simple y reforzado.

TABLA III

CARACTERISTICAS DE LOS LADRILLOS Y BLOQUES EMPLEADOS  
EN LOS MUROS DE ALBAÑILERIA ARMADA

Ensayos realizados según las normas INDITECNOR 30-54 ch y 30-154 ch<sup>13</sup>.  
Los valores indicados son promedio del número de ensayos que se da entre paréntesis.

| Tipo de unidad*  | Resistencia<br>compresión<br>kg/cm <sup>2</sup> ** | Adherencia<br>kg/cm <sup>2</sup> ** | Absorción<br>% en peso** | Dimensiones<br>nominales<br>mm |
|------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Ladrillo rejilla | 105 (10)   | 5,9 (5)                             | 15 (5)                   | 71x115x240                     |
| Ladrillo macizo  | 109 (10)   | 4,3 (5)                             | 16 (5)                   | 71x115x240                     |
| Bloques de 20*** | 64 (10)  | 3,9 (5)                             | 10 (5)                   | 190x190x390                    |

\* Ver Fig. 2.

\*\* Valores promedios; corresponden al número de ensayos que se da entre paréntesis.

\*\*\* Los bloques tienen aproximadamente 40% de huecos.

TABLA IV

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS PARA MORTERO Y HORMIGONES

| Ensayo  | Fino 1* | Fino 2* | Fino 3* | Fino 4* | Grueso* | Recomendado<br>por INDITEC-<br>NOR 2.30-57 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Granulometría   |         |         |         |         |         |  |
| 1 <sup>1/2</sup> **   |         |         |         |         | 100     |  |
| 3/4**   |         |         |         |         | 20      |  |
| 3/8**   |         |         |         |         | 1       |  |
| ASTM n° 4 (4,76 mm)   | 100     | 100     | 100     | 100     |         | 95-100                                     |
| ASTM n° 8 (2,38 mm)   | 85      | 89      | 86      | 86      |         | 80-100                                     |
| ASTM n° 16 (1,19 mm)  | 74      | 79      | 82      | 76      |         | 50- 85                                     |
| ASTM n° 30 (0,59 mm)  | 51      | 53      | 63      | 55      |         | 25- 60                                     |
| ASTM n° 50 (0,29 mm)  | 21      | 15      | 22      | 21      |         | 10- 30                                     |
| ASTM n° 100(0,15 mm)  | 7       | 4       | 7       | 6       |         | 2- 10                                      |
| Densidad aparente, asentado kg/dm <sup>3</sup>                  | 1,97    | 1,78    | 1,82    | 1,85    | 1,66    | ---  |
| Peso específico, kg/dm <sup>3</sup>                             | 2,70    | 2,72    | 2,73    | 2,74    | 2,71    | ---  |
| Porcentaje de huecos, asentado %                                | 27      | 35      | 33      | 32      | 37      | ---  |
| Impurezas orgánicas, método colorimétrico                       | apto    | apto    | apto    | apto    | apto    | ---  |
| Material más fino que tamiz, ASTM n° 200 separado por lavado, % | 5 %     | 3 %     | 1 %     | 1,6 %   | 0,15 %  | máx: 3 y 5%                                |

\* Fino 1 - Albañilerías simples, muros para ensayo de compresión.

Fino 2 - Albañilerías simples, muros para ensayo de cargas horizontales.

Fino 3 - Albañilerías reforzadas.

Fino 4 - Albañilerías armadas

Grueso- El agregado grueso y el fino 3 fueron empleados para el hormigón de pilares y cadenas en las albañilerías reforzadas. El hormigón fue de 270 kg m<sup>3</sup> de cemento, y de 145 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia.

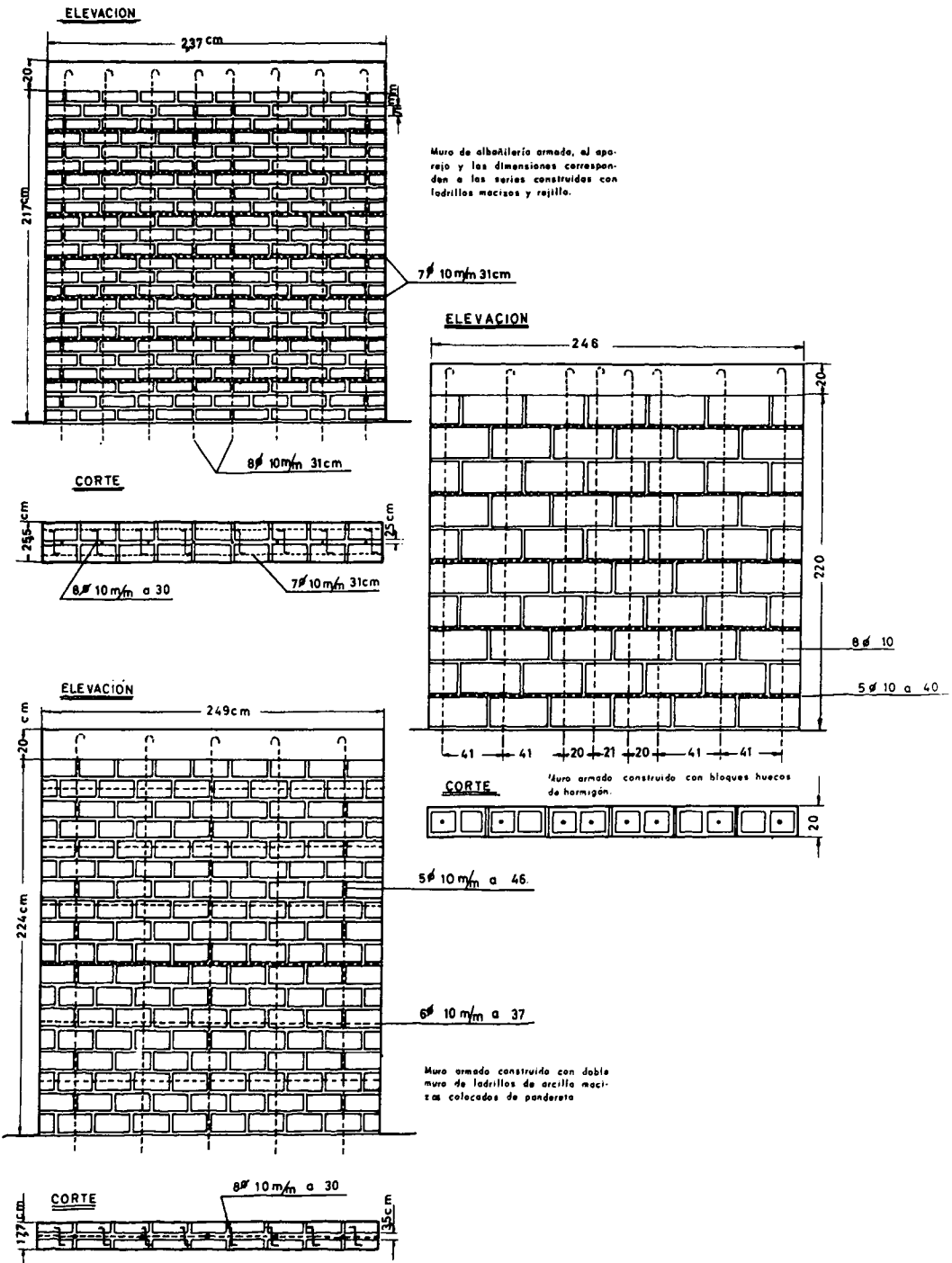


Fig. 7b. Muros de albañilería armada.



TABLA V

RESISTENCIA DE LOS MORTEROS PARA PEGAR LAS UNIDADES

Las muestras se tomaron durante la construcción de los muros. La resistencia a la compresión se midió en cubos de 7 cm de arista a 28 días. La resistencia a la tracción en probetas cuya forma era la indicada en INDITECNOR 30-54 ch.

| Denominación*<br>muros   | Tipo de ensayo<br>del muro | Resistencia compresión   |  | Resistencia tracción  |   | nº de<br>ensayos                                |
|--|----------------------------|--|--|---|---|---|
|  |                            | promedio<br>kg/cm <sup>2</sup>   | desv. típica<br>kg/cm <sup>2</sup>                             | promedio<br>kg/cm <sup>2</sup>  | desv. típica<br>kg/cm <sup>2</sup>  |   |
| R 3a de 25<br>M 3a de 25<br>M 3a de 18<br>B 3a de 20   | de carga<br>diagonal       | 160<br>135<br>151<br>106   | 40<br>18<br>14<br>18   | 25<br>28<br>23<br>26  | 2,7<br>4,0<br>4,5<br>5,0  | 10 a com-<br>presión<br>y<br>10 a trac-<br>ción |
| R 3a de 25<br>M 3a de 25<br>M 3a de 18<br>B 3a de 20   | en voladizo                | 110<br>158<br>144<br>188   | 49<br>11<br>21<br>21   | 23<br>26<br>27<br>24  | 8,1<br>2,9<br>6,5<br>5,7  |   |
| Ch 6r<br>R 3r<br>R 6r<br>R 6r<br>M 3r  | de carga<br>diagonal       | 54<br>208<br>28<br>35<br>175   | 2<br>13<br>2<br>3<br>16  | 15<br>37<br>10<br>12<br>33  | 1,6<br>3,8<br>0,8<br>1,5<br>3,7   | 5 a com-<br>presión<br>y<br>5 a trac-<br>ción   |
| R 6r<br>Ch 6r<br>R 3r<br>M 3r  | en voladizo                | 48<br>47<br>200<br>167   | 8<br>7<br>15<br>29   | 8,8<br>11,2<br>42<br>32   | 2,0<br>2,0<br>5,2<br>4,2  |   |
| Ch 3s<br>Ch 6s<br>M 3s<br>M 6s<br>M 3s<br>R 6s<br>H 3s<br>Si Ca 3s<br>Ho Si 3s<br>B 3s de 15<br>B 3s de 20 | compresión                 | 200<br>72<br>195<br>55<br>195<br>50<br>175<br>240<br>195<br>230<br>231 | --<br>--<br>--<br>--<br>--<br>--<br>--<br>--<br>--<br>--<br>-- | ---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>--- | ---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>---<br>--- | Se ensa-<br>yaron 20<br>probetas                |

\* R, rejilla; M, macizo; B, bloque; Ch, conchón; H, hueco; Si Ca, silico calcáreo; HoSi, hormigón silíceo; los números 3 y 6 indican mortero 1:3 y 1:6; de 25 de 18, etc... indican el espesor del muro.

TABLA VI

MUROS DE ALBAÑILERIA REFORZADA Y ARMADA  
RESISTENCIA DEL ACERO

| Muros                      | Diámetro<br>nominal<br>mm | Tensiones por tracción         |                              | Alargamiento<br>en 200 mm<br>% |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                            |                           | Fluencia<br>kg/cm <sup>2</sup> | Máxima<br>kg/cm <sup>2</sup> |                                |
| Albañilerías<br>reforzadas | 6                         | 38,5                           | 50,2                         | 22                             |
|                            |                           | 39,2                           | 51,2                         | 22                             |
|                            |                           | 38,0                           | 48,0                         | 23                             |
|                            |                           | 38,5                           | 49,0                         | 24                             |
|                            |                           | 38,5                           | 50,6                         | 22                             |
|                            | 12                        | 38,0                           | 48,2                         | 27                             |
|                            |                           | 40,5                           | 50,6                         | 24                             |
|                            |                           | 39,0                           | 49,7                         | 26                             |
|                            |                           | 38,2                           | 48,5                         | 27                             |
|                            |                           | 40,8                           | 51,0                         | 23                             |
| Albañilerías<br>armadas    | 10                        | 49,5                           | 60,6                         | 22                             |
|                            |                           | 45,2                           | 58,9                         | 23                             |
|                            |                           | 43,7                           | 57,4                         | 23                             |
|                            | 10                        | 32,3                           | 45,6                         | 26                             |
|                            |                           | 30,4                           | 44,7                         | 27                             |
|                            |                           | 35,2                           | 55,6                         | 22                             |
|                            |                           | 33,5                           | 53,1                         | 20                             |

## CONSTRUCCION DE LOS MUROS Y METODOS DE ENSAYO

### *Construcción de los muros*

Durante los primeros ensayos, los muros se construyeron en grupos de tres con las mismas características. Luego, dada la pequeña dispersión de los resultados obtenidos, se hicieron en grupos de dos. Los muros para ensayos a carga horizontal tenían 240 x 240 cm y el espesor que se obtiene del aparejo, muro simple de soga; excepto en las albañilerías de ladrillo de arcilla armadas cuyos espesores eran diferentes para cada serie. Para los ensayos de compresión, albañilerías simples, las probetas eran de 120 x 240 cm y del espesor que da la unidad de soga. Para los ensayos de compresión, albañilerías armadas, su tamaño estuvo entre 40 x 42 cm y 74 x 62 cm. Las características principales de los muros para cargas horizontales están en la Fig. 3.

Los muros se construyeron sobre vigas de hormigón armado y todos llevaron en el borde superior una cadena de este mismo material. Todos fueron hechos por un mismo albañil y su ayudante, ambos con experiencia en este trabajo. Su terminación consistió en emboquillado por ambos lados. Las unidades de arcilla cocida se colocaron humedecidas por inmersión en agua; las otras, con la humedad que traían.

El curado fue a la intemperie, regándose unas cuatro o cinco veces al día durante la primera semana de edad. Las albañilerías simples fueron construidas en el invierno de 1960, invierno de 1961 y otoño de 1962. Las albañilerías armadas y reforzadas en el otoño-invierno de 1963.

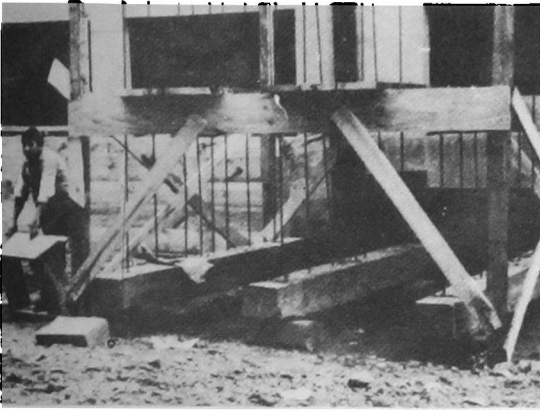
Cumplida la edad requerida (más de 45 días), los muros fueron trasladados a la máquina de ensayo mediante una grúa autopropulsada, tomándose las precauciones debidas para que no sufrieran daño durante su transporte. En algunos casos se pintaron los muros con cal para visualizar mejor la aparición de grietas durante el ensayo.

Se tomó al azar una muestra para cada partida de ladrillos o bloques utilizada. Durante la construcción del muro, además, se tomaron muestras de mortero para someterlas a ensayos de compresión.

En las Figs. 4,5, aparecen diversos aspectos de la construcción de los muros. En la Fig. 6, puede verse cómo se llevaron a la máquina de ensayo.

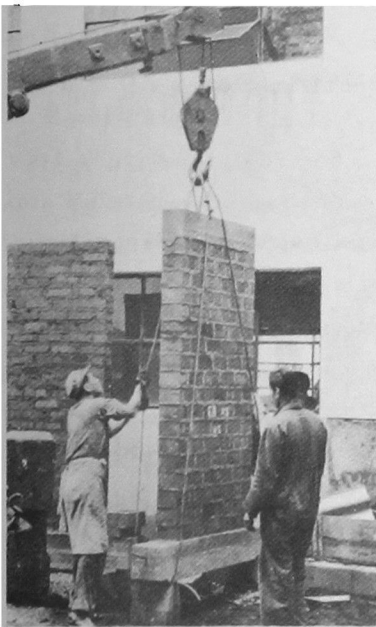
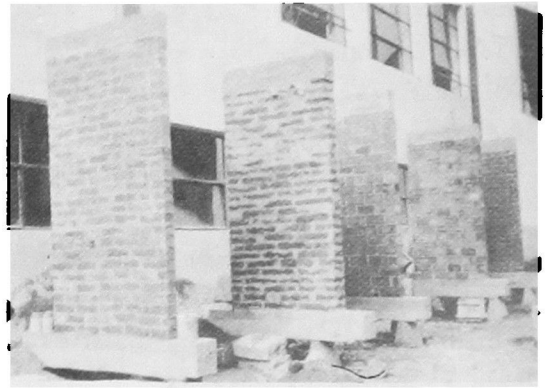
### *Ensayos de compresión*

Para los ensayos de compresión se utilizó una prensa hidráulica Losenhau-senwerk de una capacidad máxima de carga de 500 t y que permite hacer lecturas de 0,2 en 0,2 t, Fig. 7.



**Fig. 4.** Comienza la construcción de los muros. En la foto: muros de albañilería armada para ensayos de cargas horizontales.

**Fig. 5.** Muros de albañilería simple para ser ensayados a compresión.



**Fig. 6.** Transporte de los muros a la máquina de ensayo.



**Fig. 7.** Ensayo de compresión.

La carga, transmitida por el plato rotulado de la máquina de ensayo, se aplicó mediante un perfil doble T reforzado, colocado sobre la cadena de hormigón armado en el borde superior del muro, con el propósito de repartirla uniformemente.

Se midieron los acortamientos de los muros de albañilerías simples en toda su longitud (240 cm). Para esto se utilizaron cuatro perfiles angulares que iban desde el ala inferior del perfil, hasta la cara superior de la viga inferior del muro y que se apoyaban sobre cuatro extensómetros que descansaban sobre esta viga. Los extensómetros permitían medir con la aproximación de 0,001" y tenían un recorrido de 1". Las deformaciones laterales se midieron con dos extensómetros colocados en el centro de cada una de las caras laterales mayores del muro. La aproximación de la lectura era de 0,01 mm y su recorrido de 10 mm. (En los ensayos se observó que, prácticamente, no se acusaban deformaciones laterales en el muro).

La carga se aplicó centrada sobre la viga doble T. Se aumentó su intensidad en forma escalonada, volviendo a cero después de cada aplicación de manera de obtener las deformaciones remanentes.

Una vez alcanzada la carga cercana a la ruptura se retiraron los extensómetros para evitar deterioros en caso de desprendimiento de fragmentos, y después se llevó el muro a la ruptura y se anotó la máxima carga que resistió. La velocidad de deformación fue aproximadamente constante entre 5 y 7 mm por minuto en todos los ensayos.

Para las albañilerías armadas, la carga se aumentó gradualmente y de una sola vez hasta alcanzar la ruptura. No hubo lecturas de deformaciones. Para estos últimos ensayos se tuvieron en cuenta las especificaciones de la norma ASA 41.2-1960.

### *Ensayos a cargas horizontales*

Para los ensayos a cargas horizontales se utilizó una estructura especialmente construida para este objeto. Las cargas horizontales fueron aplicadas en el extremo superior del muro. Su volcamiento se impidió con un juego de tirantes aplicados sobre el muro (método (a) de compresión diagonal) o sobre la viga inferior de apoyo del muro (método (b) en voladizo). El deslizamiento de los muros se evitó con un tope que forma parte de la estructura del dispositivo de ensayo, Figs. 13, 14 y 15.

Para asegurar el buen ajuste de la viga inferior con el tope de la estructura, se rellenó el espacio entre ambos con mortero de cemento de alta resistencia inicial, agregándose un aditivo para acelerar el fraguado.

Para medir las deformaciones de los muros durante el ensayo se usaron diales colocados en una estructura de acero solidaria a la estructura principal del dispositivo de ensayo. En algunos ensayos se intentó medir los acortamientos

tos y alargamientos totales de las dos diagonales del muro, mediante listones ligados a una esquina del muro y apoyados contra diales solidarios de la esquina opuesta: también se intentaron medidas con strain gauges en el hormigón y el acero de los refuerzos. Estos últimos procedimientos de medidas de deformación no dieron resultado.

La carga se aplicó en la cadena superior del muro y a todo su ancho mediante una placa de acero que la repartía. Se aumentó su intensidad en forma escalonada, volviendo a cero después de cada aplicación, de manera de obtener las deformaciones remanentes en el muro después de cada carga. En unos pocos casos el muro fue llevado hasta la ruptura gradualmente y de una sola vez.

## RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Los resultados de los ensayos de muros de albañilería simple - compresión y cargas horizontales - se consignan en las Tablas VII y VIII; los de las albañilerías reforzadas - cargas horizontales - en la Tabla IX; y los de las albañilerías armadas - compresión y cargas horizontales - en las Tablas X y XI.

En las Figs. 8 a 12 se muestran muros después de ensayados a compresión. Se observó que los muros de ladrillos macizos de más baja resistencia, de chonchón y hormigón silíceo, Figs. 8 y 11, se rompían plásticamente con grietas pequeñas y distribuidas. En los demás casos, las roturas fueron bruscas.

En las Figs. 16 a 20 se ven muros de albañilerías simples ensayados a cargas horizontales: compresión diagonal.

En las Figs. 21 a 23 se ven muros de albañilerías reforzadas ensayados a cargas horizontales: compresión diagonal y carga en voladizo. En la Fig. 24 se ve un marco formado por pilares y cadena de hormigón armado.

En las Figs. 25 a 30 se muestran muros de albañilerías armadas ensayados a cargas horizontales.

Las fotos se han presentado con el propósito de mostrar roturas típicas en los ensayos. Examinadas todas las grietas que ocurrieron en los ensayos de compresión diagonal, puede decirse que ellas tienden a preferir la diagonal, sin que se puedan distinguir diferencias significativas, en cuanto a la forma de la grieta, entre las distintas series de muros ensayados.

En el ensayo de carga en voladizo los muros reforzados tuvieron grietas diagonales; en cambio, los muros armados, en estos mismos ensayos, tuvieron grietas en las juntas horizontales.

Finalmente en las Figs. 31, 32 y 33 se presentan las curvas carga-deformación de los muros ensayados. Las curvas de las Figs. 32 y 33, cargas hori-



Fig. 8. Muro Ch 3s, compresión.

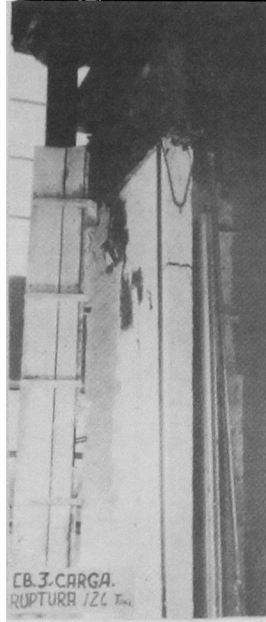


Fig. 9. Muro M 3s, compresión.

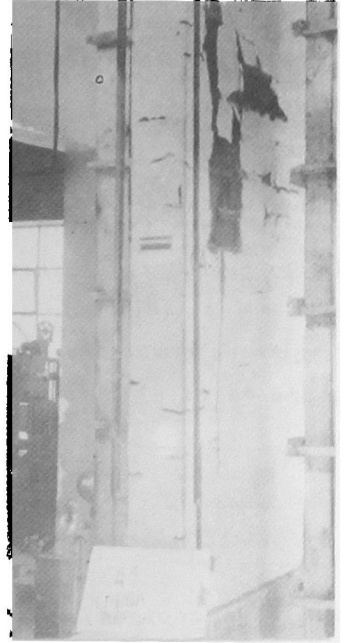


Fig. 10. Muro R 3s, compresión.



Fig. 11. Muro HoSi 3s, compresión.



Fig. 12. Muro B 3s de 20 compresión.

TABLA VII

MUROS DE ALBAÑILERIA SIMPLE  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESION

Muros de 120 cm de largo y 240 cm de alto. Las cargas unitarias se han calculado sobre área bruta. Edad del muro al ensayarlo unos 45 días. Cada valor de carga máxima representa un muro ensayado.

| Denominación* | Tipo de unidades y proporción del mortero (en volumen) | Espesor nominal del muro mm | Resistencia compresión mortero, kg/cm <sup>2</sup> | Resistencia compresión unidades,** kg/cm <sup>2</sup> | Carga de ruptura t               | Carga unitaria de ruptura indiv. promed. kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup> |     | Razón entre las resistencias del muro y de la unidad |
|---------------|--|-----------------------------|--|---|----------------------------------|--|-----|--|
| Ch 3s         | chonchón 1:3   | 190                         | 240  | 32  | 44,6<br>46,2<br>46,0             | 16<br>19<br>1 <sup>o</sup>   | 18  | 0,56   |
| Ch 6s         | chonchón 1:6   | 190                         | 64   | 38  | 34,5<br>34,4                     | 15<br>15   | 15  | 0,40   |
| M 3s          | macizos 1:3  | 115                         | 209  | 156   | 162,0<br>136,0                   | 118<br>98  | 103 | 0,66   |
| M 6s          | macizos 1:6  | 115                         | 60   | 154   | 126,0<br>99,5<br>104,5           | 73<br>75   | 75  | 0,49   |
| R 3s          | rejilla 1:3  | 175                         | 215  | 106   | 222,0<br>230,0<br>200,0<br>189,0 | 104<br>106<br>93<br>88   | 98  | 0,92   |
| R 6s          | rejilla 1:6  | 175                         | 38   | 106   | 71,0<br>64,5                     | 34<br>31   | 33  | 0,32   |
| H 3s          | huecos 1:3   | 135                         | 177  | 25  | 37,6<br>41,8<br>36,0             | 23<br>26<br>22   | 24  | 0,96   |
| Si Ca 3s      | silíceo-calcáreos 1:3                                  | 125                         | 206  | 67  | 86,5<br>92,0                     | 60<br>64   | 62  | 0,93   |
| Ho Si 3s      | hormigón silíceo 1:3                                   | 120                         | 195  | 50  | 66,0<br>66,0<br>67,5             | 46<br>46<br>47   | 46  | 0,92   |
| B 3s          | bloques 1:3  | 140                         | 230  | 41  | 90,0<br>74,0<br>84,5             | 50<br>41<br>47   | 46  | 1,10   |
| B 6s          | bloques 1:3  | 190                         | 200  | 49  | 112,0<br>148,5<br>146,5          | 41<br>62<br>61   | 54  | 1,10   |

\*Ch, chonchón; M, macizo; R, rejilla; H, hueco; Si Ca, silíceo calcáreo; Ho Si, silíceo calcáreo; B, bloque; los números 3 y 6 indican morteros 1:3 y 1:6; s, albañilería simple.

\*\*Ensayos según normas INDITECNOR 30-54 ch y 30-154 ch.

zontales, se dan sólo a título de información. Se estima que ellas pueden ilustrar sobre las rigideces relativas de los muros dentro de cada grupo: muros armados, entre sí, muros reforzados, entre sí. Pero, mientras no se examine más cuidadosamente la información experimental acumulada, no se pueden emplear para deducir valores del módulo de elasticidad transversal, G.

Los resultados de los ensayos a carga diagonal son parecidos para muros del mismo tipo de unidades y mortero - ya sea muros simples o reforzados. Sin embargo, la manera de romperse es diferente: los muros simples llegan al colapso en cuanto se produce la grieta principal, a la carga máxima; los muros reforzados, en cambio, resisten una deformación muchas veces mayor sin que

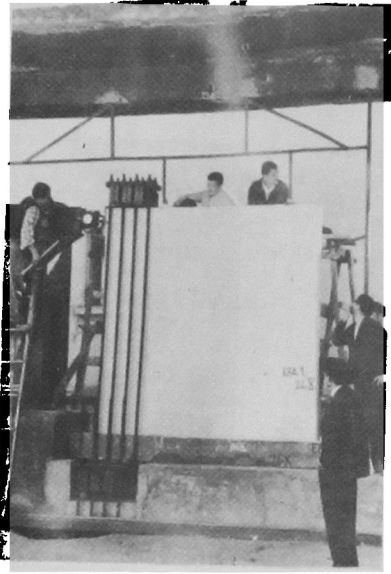


Fig. 13. Ensayo de compresión diagonal

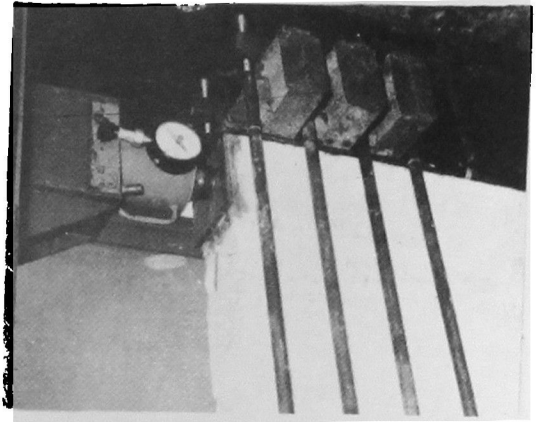


Fig. 14. Detalle con el apoyo de tirantes y gata hidráulica.

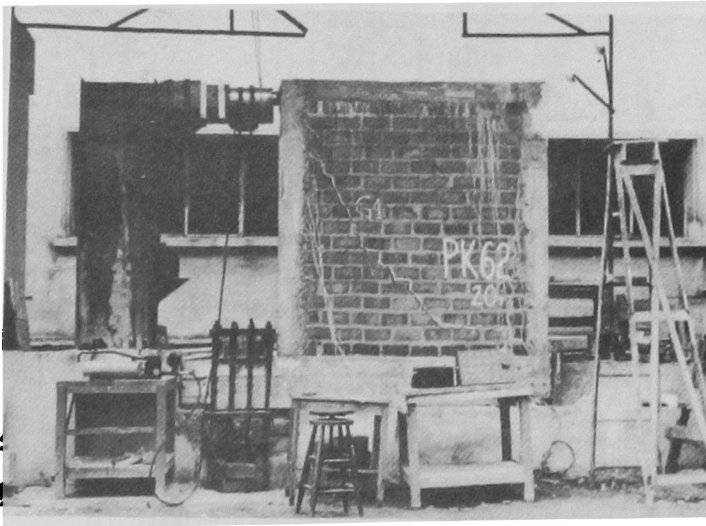


Fig. 15. Equipo para el ensayo de carga en voladizo. Aparece un muro R ór ensayado. Puede verse la estructura soportante, estructura auxiliar para colocar diales, la gata hidráulica y la ubicación de los tirantes. Sobre la mesa, adelante, un equipo para medir deformaciones del acero de los pilares mediante strain gauges de resistencia.



TABLA VIII

MUROS DE ALBAÑILERIA SIMPLE  
RESULTADOS DE ENSAYOS A CARGAS HORIZONTALES

Muros de 240 x 240 cm. Método de ensayo (a), compresión diagonal. Edad de ensayo, más de 45 días. Cada valor de carga máxima corresponde a un muro ensayado.

| Denominación* | Tipo de unidades<br>proporción mort. | Espesor<br>nominal del<br>muro<br>mm | Mortero, resis-<br>compresión<br>kg/cm <sup>2</sup> | Unidades,<br>resistencia<br>compresión<br>kg/cm <sup>2</sup> | Carga<br>máxima<br>t | Carga unitaria<br>máxima**   |                               |
|---------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--|----------------------|------------------------------|-------------------------------|
|               |                                      |                                      |   |  |                      | indiv.<br>kg/cm <sup>2</sup> | promed.<br>kg/cm <sup>2</sup> |
| Ch 3s         | chonchón<br>1:3                      | 190                                  | 159   | 32   | 14,4                 | 3,0                          | 3,9                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 20,0                 | 4,2                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 20,9                 | 4,4                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 18,1                 |                              |                               |
| Ch 6s         | chon chón<br>1:6                     | 190                                  | 79  | 38   | 16,0                 | 3,7                          | 3,6                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 15,9                 | 3,5                          |                               |
| M 3s          | macizo<br>1:3                        | 115                                  | 181   | 156  | 25,6                 | 9,3                          | 8,7                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 26,6                 | 9,6                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 20,0                 | 7,3                          |                               |
| M 6s          | macizo<br>1:6                        | 115                                  | 49  | 154  | 20,0                 | 7,2                          | 6,7                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 17,2                 | 6,2                          |                               |
| R 3s          | rejilla<br>1:3                       | 175                                  | 174   | 106  | 26,6                 | 6,3                          | 7,2                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 36,3                 | 8,6                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 27,5                 | 6,6                          |                               |
| R 6s          | rejilla<br>1:6                       | 175                                  | 62  | 106  | 18,6                 | 4,4                          | 4,7                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 20,5                 | 4,9                          |                               |
| H 3s          | huecos<br>1:3                        | 135                                  | 172   | 25   | 17,2                 | 5,3                          | 5,5                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 23,5                 | 7,2                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 12,7                 | 3,9                          |                               |
| Si Ca 3s      | sílico-calcáreo                      | 125                                  | 276   | 67   | 19,0                 | 6,5                          | 6,2                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 17,0                 | 5,9                          |                               |
| Ho Si 3s      | hormigón-silíceo<br>1:3              | 120                                  | 194   | 50   | 18,0                 | 6,2                          | 5,9                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 17,0                 | 5,9                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 16,0                 | 5,5                          |                               |
| B 3s          | bloque de 15<br>1:3                  | 140                                  | 230   | 41   | 23,0                 | 6,4                          | 5,8                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 19,5                 | 5,4                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 20,0                 | 5,6                          |                               |
| B 3s          | bloque de 20<br>1:3                  | 190                                  | 263   | 49   | 26,0                 | 5,4                          | 5,3                           |
|               |                                      |                                      |   |  | 26,0                 | 5,4                          |                               |
|               |                                      |                                      |   |  | 25,0                 | 5,2                          |                               |

\*Ch, chonchón; M, macizo; R, rejilla; H, huecos; Si Ca, sílico-calcáreo; HoSi, hormigón silíceo; B, bloque; los números 3 y 6 indican morteros 1:3 y 1:6; s, albañilería simple.

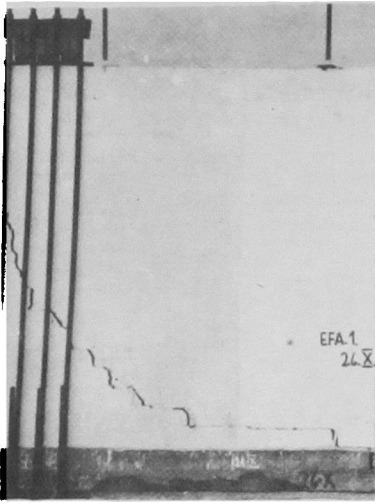
\*\*Se ha obtenido dividiendo la carga máxima por la sección horizontal del muro.

se produzca el colapso y todavía con una apreciable capacidad resistente.

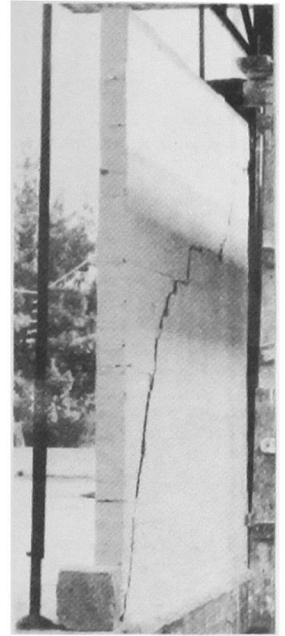
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

*Rigideces, módulo de elasticidad en compresión*

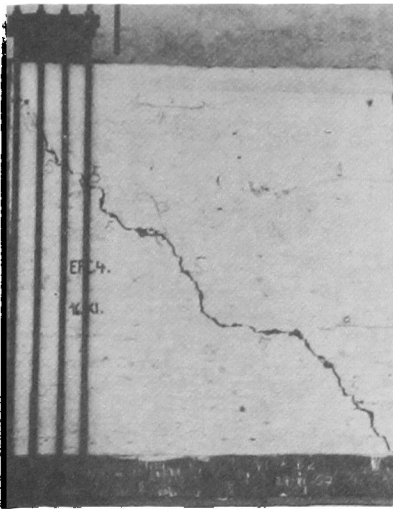
Se ha calculado el módulo de elasticidad en el ensayo de compresión. Para ello se ha medido la inclinación de la recta secante trazada en la curva carga deformación desde el valor 20% al valor 60% de la carga unitaria de ruptura. No se ha considerado la parte de la curva antes del valor 20% porque en muchos casos esta zona se presenta con irregularidades debidas a asentamientos de acomodación de los dispositivos de medida en la parte inicial del ensayo. El valor 60% representa, aproximadamente, el límite superior hasta el



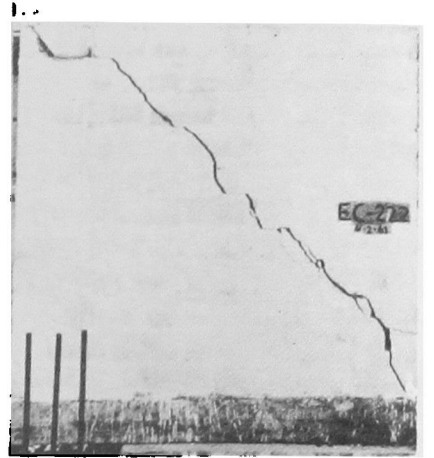
**Fig. 16. Muro R 3s, ladrillo rejilla, compresión diagonal.**



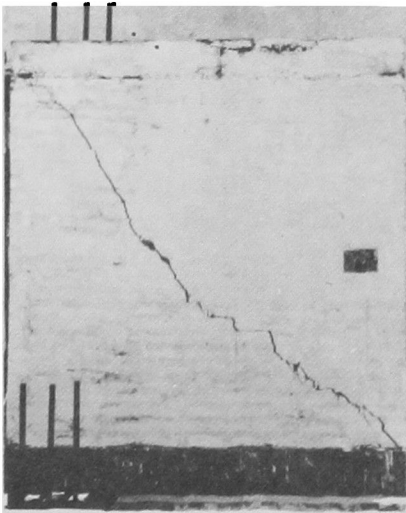
**Fig. 17. Muro M 3s, ladrillo macizo, compresión diagonal.**



**Fig. 18. Muro Ch 3s, ladrillo conchón, compresión diagonal.**



**Fig. 19. Muro B 3s de 20, compresión diagonal.**



**Fig. 20. Muro Si Ca 3s, ladrillo silico calcáreo, compresión diagonal.**

TABLA IX

MUROS DE ALBAÑILERIA REFORZADA CON PILARES Y CADENAS  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A CARGAS HORIZONTALES

Muros de 240 cm de largo por 240 cm de alto. Pilares y cadenas, de espesor igual al muro y 20 cm la otra dimensión, armados con  $\varnothing 12$  y estribos de  $\varnothing 6$  mm a 20 cm. Hormigón de resistencia media de 145 kg/cm<sup>2</sup> hecho con 270 kg de cemento tipo A por m<sup>3</sup> elaborado. Edad aproximada más o menos 45 días de fabricados. Cada valor de carga máxima corresponde a un muro ensayado.

| Denominación* | Método de ensayo | Tipo de las unidades<br>Proporción mortero | Espesor nominal del muro mm | Mortero, resistencia compresión kg/cm <sup>2</sup> | Unidades, resistencia compresión kg/cm <sup>2</sup> | Hormigón del refuerzo, resistencia compresión kg/cm <sup>2</sup> | Carga máxima t | Carga unitaria máxima** kg/cm <sup>2</sup> |
|---------------|------------------|--|-----------------------------|--|---|--|----------------|--|
| Ch 6r         | carga diagonal   | chonchón 1:6                               | 190                         | 54   | 39  | 226<br>104   | 20,0<br>20,0   | 4,2<br>4,2                                 |
| R 6r          | carga diagonal   | rejilla 1:6                                | 175                         | 28   | 76  | 145<br>166   | 27,5<br>20,0   | 6,5<br>4,8                                 |
| R 6r          | carga diagonal   | rejilla 1:6                                | 175                         | 35   | 76  | 198<br>150   | 30,0<br>30,0   | 7,1<br>7,1                                 |
| R 3r          | carga diagonal   | rejilla 1:3                                | 175                         | 208  | 76  | 140<br>160   | 35,0<br>27,5   | 8,3<br>6,5                                 |
| M 3r          | carga diagonal   | macizo 1:3                                 | 115                         | 175  | 109   | 100<br>128   | 16,5<br>25,0   | 6,0<br>9,1                                 |
| Marco*        | carga diagonal   | ---  | ---                         | ---  | ---   | 175<br>98  | 1,6<br>1,6     | ---  |
| Ch 6r         | en voladizo      | chonchón 1:6                               | 190                         | 47   | 39  | 154<br>171   | 18,5<br>12,5   | ---  |
| R 6r          | en voladizo      | rejilla 1:6                                | 175                         | 48   | 109   | 191<br>157   | 17,0<br>20,0   | ---  |
| R 3r          | en voladizo      | rejilla 1:3                                | 175                         | 199  | 109   | 130<br>157   | 20,0<br>22,5   | ---  |
| M 3r          | en voladizo      | macizo 1:3                                 | 115                         | 167  | 76  | 113<br>108   | 14,0<br>12,5   | ---  |
| Marco*        | en voladizo      | ---  | ---                         | ---  | ---   | 94<br>132  | 1,0<br>1,0     | ---  |

\*Ch, chonchón; R, rejilla; M, macizo; los números 3 y 6 indican mortero 1:3 y mortero 1:6; r, albañilería reforzada.

\*\*Resultado de dividir la carga máxima por la sección horizontal bruta del muro.

\*Marcos de hormigón armado formados por dos pilares y una viga-cadena, igual a los que sirven de refuerzo a los muros de albañilería.

cual se han realizado mediciones de deformación. Los diales se retiraban antes de la carga de rotura para evitar que sufrieran daños.

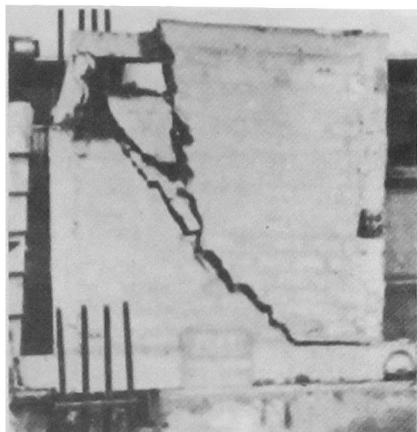
En la Fig. 34 se han representado gráficamente los valores calculados para los distintos tipos de muros. La zona achurada en el gráfico se ha definido por los valores extremos del módulo en cada serie de ensayos. Se observa que hay diferencias significativas entre series de muros ensayados.

#### Cargas admisibles.

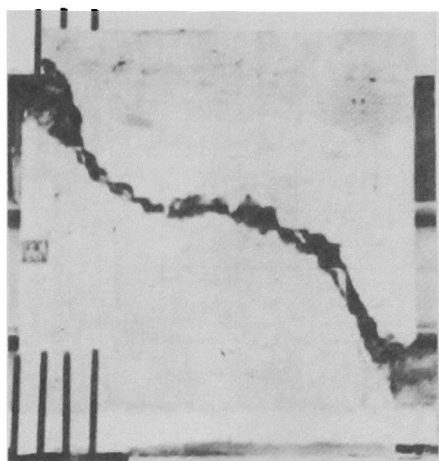
En los ensayos de compresión puede observarse que la resistencia a la ruptura de los muros construidos con mortero 1:6, de unos 50 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión resultan ser más o menos un 40% de la resistencia de la unidad. Si tomamos en cuenta que este tipo de mortero de pega corresponde a uno de baja resistencia entre los empleados en la práctica; y si, además, estable-



**Fig. 21. Muro Ch 6s, en voladizo.**



**Fig. 22. Muro R 6r, compresión diagonal**



**Fig. 23. Muro Ch 6r, compresión diagonal.**

**Fig. 24. Ensayo de marco de hormigón armado.**

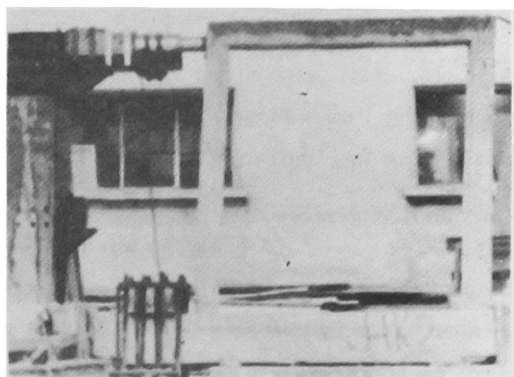


TABLA X

MUROS DE ALBAÑILERIA ARMADA  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESION

Aparejo de los muros: de la Fig. 3. Mortero para pegar las unidades 1:3. El mortero de relleno entre las unidades es de la misma proporción. El mortero 1:3 resultó de una resistencia media a la compresión de 150 kg/cm<sup>2</sup>. Cada valor de carga máxima corresponde a un muro ensayado.

| Denominación* | Tipo de las unidades y del aparejo              | Espesor del muro mm | Largo y alto del muro cm x cm | Unidades resisten. compres. kg/cm <sup>2</sup> | Carga máxima t    | Carga unitaria máxima kg/cm <sup>2</sup> | Carga** unitaria máxima normal kg/cm <sup>2</sup> |
|---------------|---|---------------------|-------------------------------|--|-------------------|--|---|
| R 3a          | ladrillo rejilla colocado de sogá en doble muro | 255                 | 74x62                         | 105  | 215<br>217<br>225 | 134<br>134<br>139                        | 148   |
| M 3a          | ladrillo macizo de sogá en doble muro           | 225                 | 74x62                         | 109  | 168<br>172<br>208 | 84<br>88<br>106                          | 101   |
| M 3a          | ladrillo macizo de pandereta en doble muro      | 177                 | 49x52                         | 109  | 97<br>97<br>105   | 121<br>121<br>120                        | 144   |
| B 3a          | bloque hueco de hormigón en muro simple         | 200                 | 40x42                         | 64   | 52<br>42<br>54    | 69<br>56<br>72                           | 66  |

\*R, rejilla; M, macizo; B, bloque; los números 3 y 6 indican mortero 1:3 y 1:6; a, albañilería armada.

\*\* Los valores se han calculado con los coeficientes establecidos por la norma ASA 41.2-60.

TABLA XI

MUROS DE ALBAÑILERIA ARMADA  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A CARGAS HORIZONTALES

Muros de 240 cm de largo por 240 cm de alto. Ensayo más o menos a 45 días de construidos. Cada valor de carga máxima corresponde a un muro.

| Denominación* | Método de carga   | Tipo de las unidades y aparejo             | Espesor muro mm | Armadura** |        | Mortero resisten. compres. kg/cm <sup>2</sup> | Unidad resist. compres. kg/cm <sup>2</sup> | Carga* grieta princip. t | Carga máxima t | Carga <sup>§</sup> unitaria máxima kg/cm <sup>2</sup> |
|---------------|-------------------|--|-----------------|------------|--------|---|--|--------------------------|----------------|---|
|               |                   |  |                 | vert.      | horiz. |   |  |                          |                |   |
| R 3a          | compres. diagonal | ladrillo rejilla de sogá en doble muro     | 255             | 8Ø10       | 7Ø10   | 160   | 105  | 58,5<br>55,5             | 59,5<br>62,5   | 9,8<br>10,2   |
| M 3a          | compres. diagonal | ladrillo macizo de sogá en doble muro      | 255             | 8Ø10       | 7Ø10   | 135   | 109  | 59,0<br>52,5             | 65,0<br>57,5   | 10,6<br>9,4   |
| M 3a          | compres. diagonal | ladrillo macizo de pandereta en doble muro | 200             | 5Ø10       | 6Ø10   | 151   | 109  | 30,0<br>37,5             | 32,5<br>40,0   | 7,3<br>9,0  |
| B 3a          | compres. diagonal | bloque hueco de hormigón en muro simple    | 200             | 8Ø10       | 5Ø10   | 106   | 64   | 45,0<br>40,0             | 45,0<br>42,5   | 9,2<br>8,6  |
| R 3a          | en voladizo       | ladrillo rejilla de sogá en doble muro     | 255             | 8Ø10       | 7Ø10   | 110   | 105  | 10,0<br>7,5              | 15,0<br>15,0   | ---<br>---  |
| M 3a          | en voladizo       | ladrillo macizo de sogá en doble muro      | 255             | 8Ø10       | 7Ø10   | 158   | 109  | 12,5<br>7,5              | 14,0<br>14,0   | ---<br>---  |
| M 3a          | en voladizo       | ladrillo macizo de pandereta en doble muro | 177             | 5Ø10       | 6Ø10   | 144   | 109  | 7,5<br>10,0              | 10,0<br>10,5   | ---<br>---  |
| B 3a          | en voladizo       | bloque hueco de hormigón en muro simple    | 200             | 8Ø10       | 5Ø10   | 188   | 64   | 12,5<br>5,0              | 12,5<br>15,0   | ---<br>---  |

\*R, rejilla; M, macizo; B, bloque; los números 3 indican. Mortero 1:3; a, albañilería armada.

\*\*La resistencia del acero se da en Tabla VI

\*Corresponde a la lectura acusada por el dispositivo de carga en el instante en que se origina la grieta principal; esto es, según la cual se produce la ruptura final del muro.

§ Cuociente entre la carga máxima y la sección horizontal del muro.

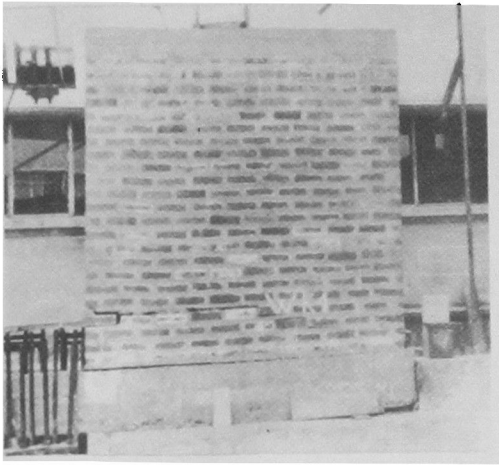


Fig. 25. Muro R 3a de 25, carga en voladizo.

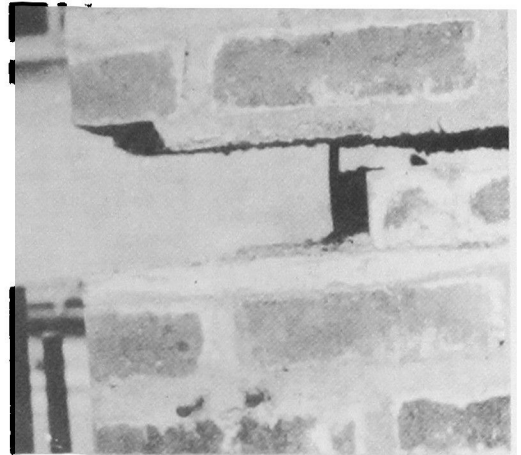


Fig. 26. Muro R 3a de 25, detalle grieta.

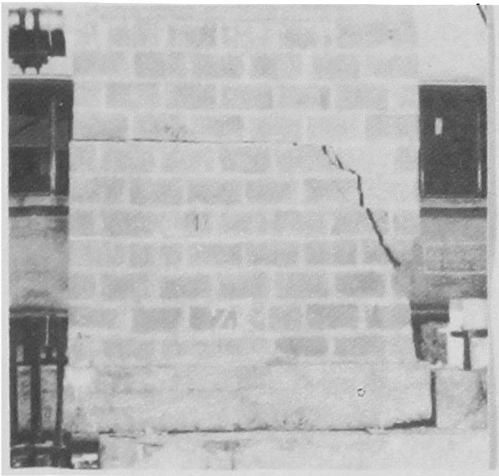


Fig. 27. Muro B 3a de 20, carga en voladizo.

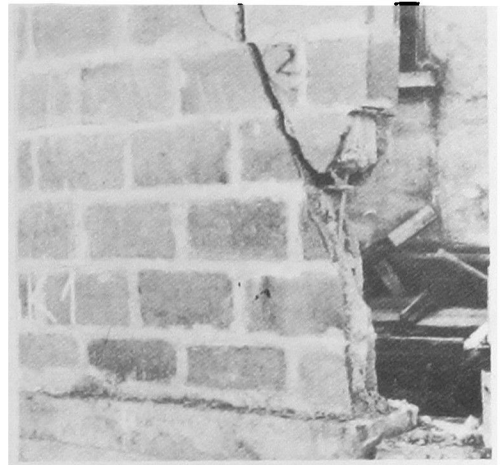


Fig. 28. Muro B 3a de 20, detalle grieta.

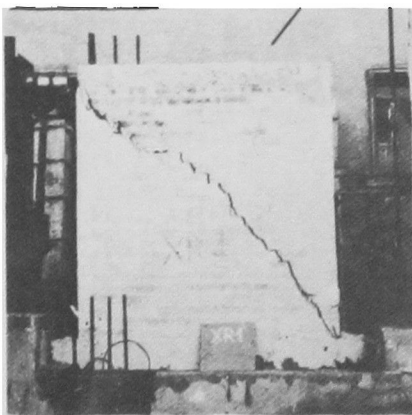


Fig. 29. Muro M 3a de 25, compresión diagonal.

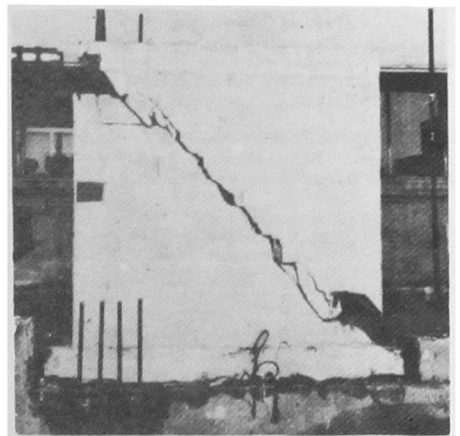


Fig. 30. Muro B 3a de 20, compresión diagonal.

ceinos un coeficiente de seguridad de 4 para calcular la carga unitaria admisible a la compresión, entonces resulta que ésta valdría un décimo de la resistencia de la unidad.

El simple examen de las Tablas VIII y IX indica que la resistencia a la ruptura por cargas horizontales es claramente diferente según sea el tipo de ladrillo usado. La diferencia mas obvia aparece entre los muros de ladrillo "chonchón" y los ladrillos de arcilla cocida moldeados a máquina "rejilla" y "macizo". El comportamiento de estos últimos es superior.

Se observaron, además, diferencias de comportamiento entre las albañilerías simples y las albañilerías reforzadas, sometidas a cargas horizontales. Aunque las cargas de rotura son del mismo orden para unas y otras, no ocurre lo mismo con la energía necesaria para originar el colapso del muro: esta energía resulta ser unas veinte veces mayor para las albañilerías reforzadas. Esto hace suponer que la seguridad adicional al colapso de la estructura que agrega la existencia de pilares y cadenas es muy grande.

#### *Albañilerías armadas*

Los resultados de los ensayos de albañilerías armadas dan informaciones que permiten aplicar en Chile, con un mejor conocimiento que antes, la norma ASA A41.2-1960 al diseño de estructuras según este sistema constructivo.

Los ensayos de compresión permiten disponer del valor de la resistencia a la compresión de la albañilería, a partir del cual, la citada norma, especifica las tensiones admisibles y módulos de rigidez a emplearse en el diseño.

Los ensayos de compresión diagonal, además, hacen pensar que sea razonable la carga unitaria admisible al corte de  $3,5 \text{ kg/m}^2$  propuesta por la norma para el caso que no haya armadura especial para absorber este tipo de esfuerzos.

#### *Relación entre la resistencia a la compresión y a la carga diagonal*

Hemos encontrado, una relación con pequeña dispersión entre la resistencia a compresión del muro,  $\sigma_M$ , y la resistencia en el ensayo de compresión diagonal,  $\tau_M$ , esta es:

$$\tau_M = 2,8 + 0,057 \sigma_M$$

y está representada gráficamente en la Fig. 35 con los datos obtenidos en las Tablas VII y VIII.

### COMENTARIO FINAL

Los resultados de los ensayos indican que las resistencias medias a la compre-

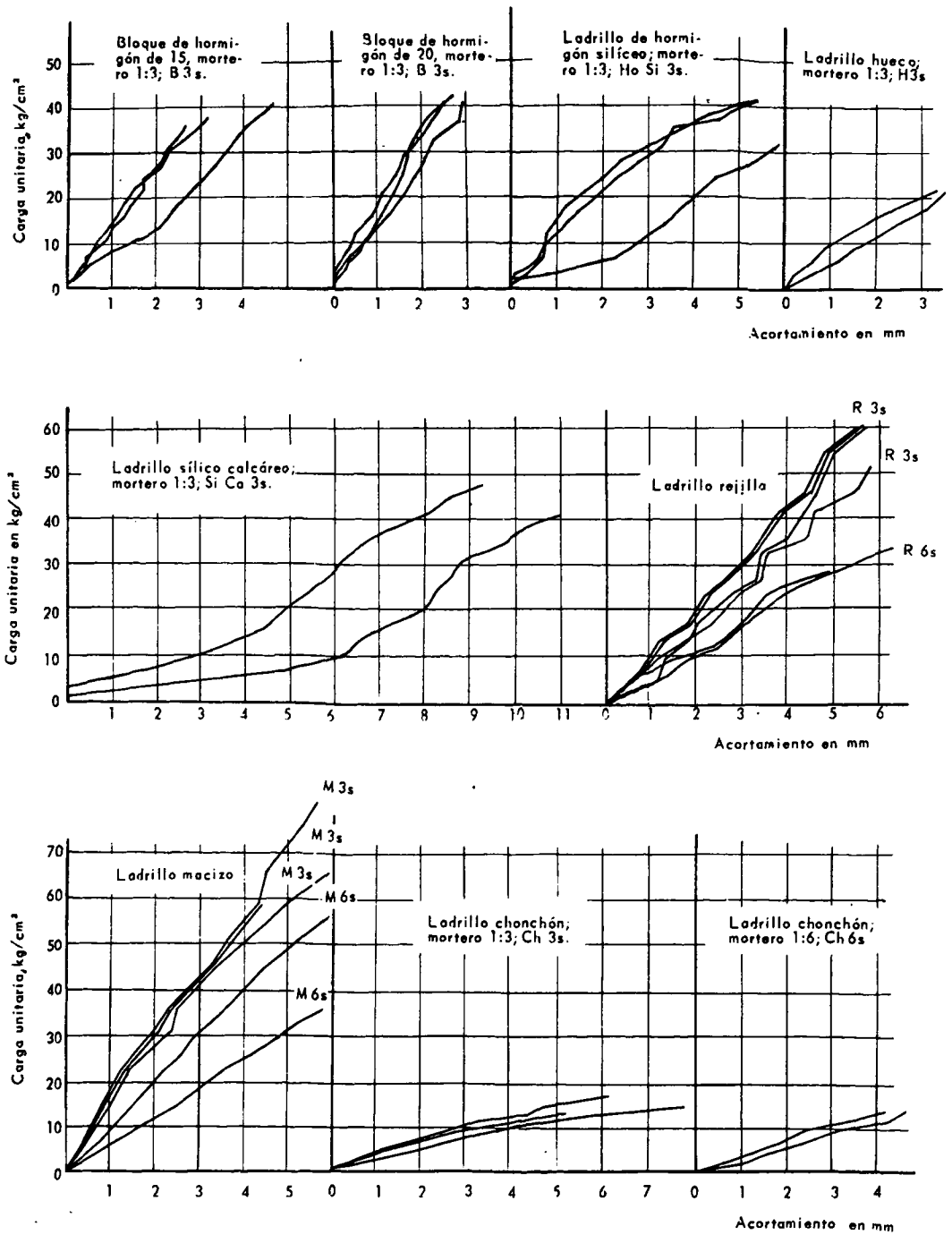
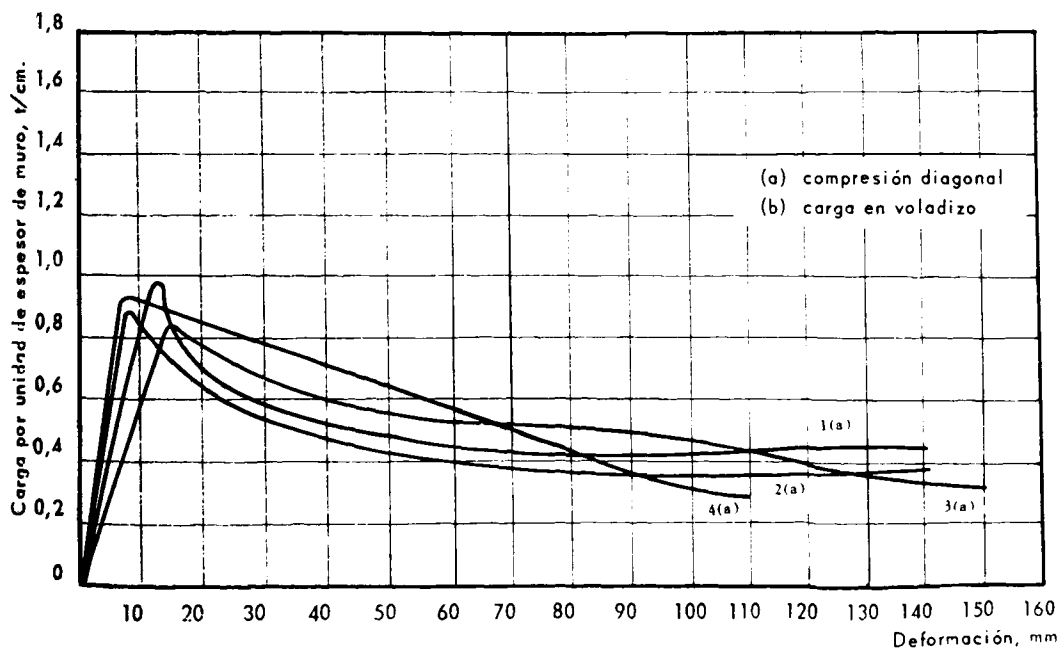
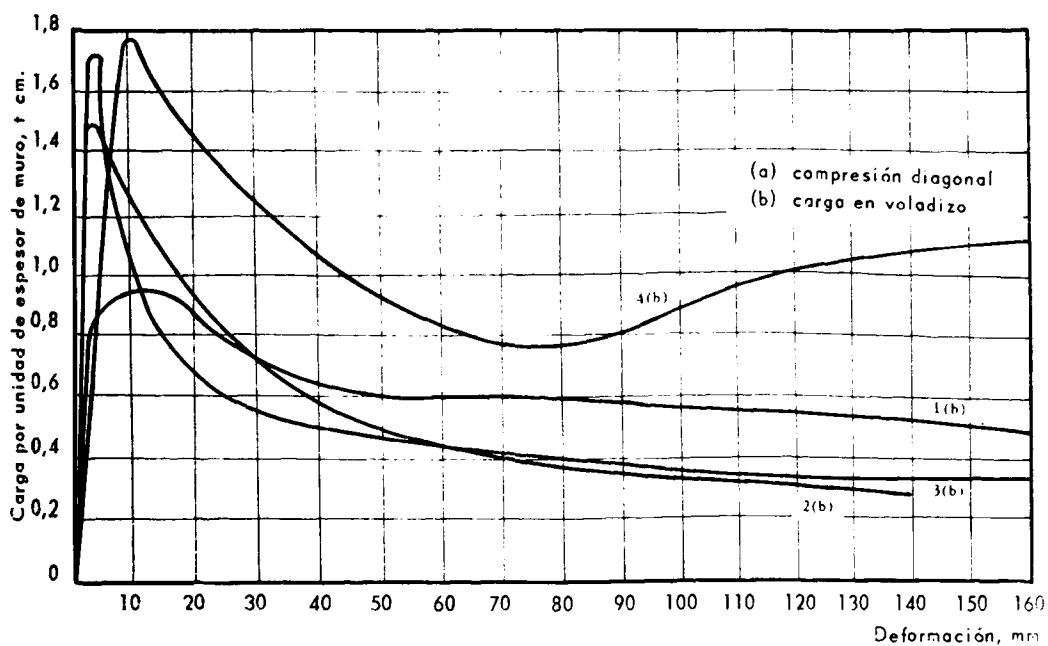


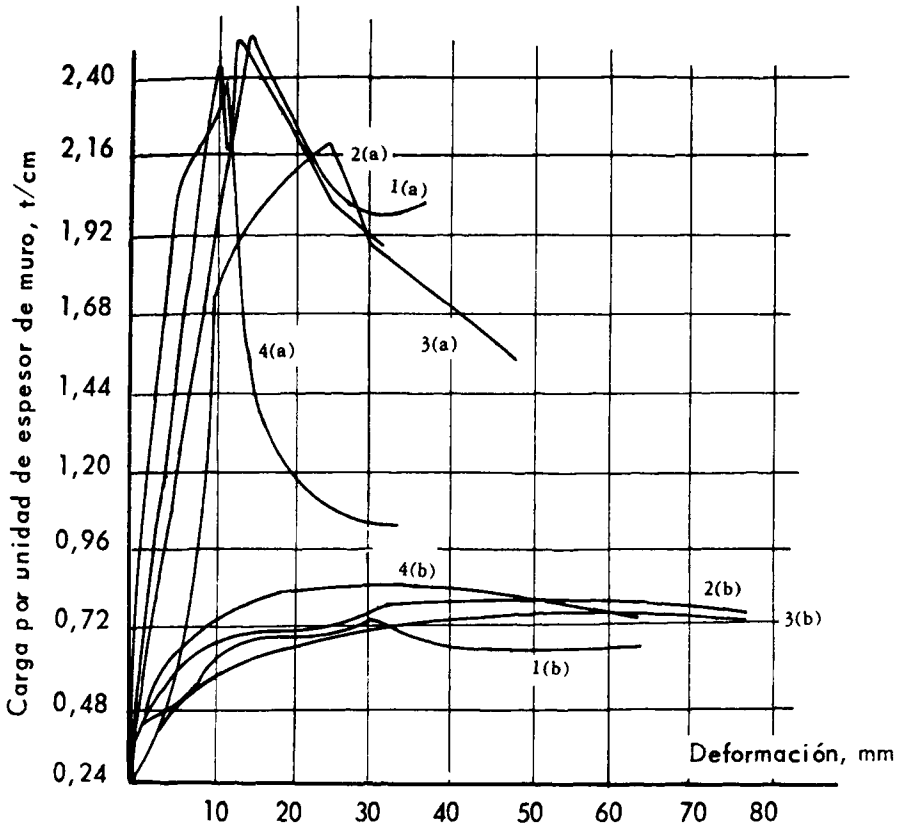
Fig. 31 Curvas carga deformación de los muros ensayados a compresión.





1. Muros de ladrillo de chonchón, mortero 1:6
2. Muros de ladrillo rejilla, mortero 1:3
3. Muros de ladrillo rejilla, mortero 1:6
4. Muros de ladrillo macizo, mortero 1:3

Fig. 32. Curvas carga-deformación de los muros reforzados con pilares y cadenas de hormigón armado cargas horizontales.



- 1.- Muro doble de ladrillo macizo de 25 cm de espesor total.
- 2.- Muro doble de ladrillo rejilla de 25 cm de espesor total.
- 3.- Muro doble de ladrillo macizo de 18 cm de espesor total.
- 4.- Muro simple de bloques de hormigón de 20 cm espesor, armadura en los huecos de los bloques.

(a) ensayo de compresión diametral.

(b) ensayo de carga en voladizo.

Cada curva es promedio de dos ensayos.

Fig. 33 Curvas carga-deformación de los muros de albañilerías armadas ensayados a cargas horizontales.

sión de los morteros de cemento y arena 1:3 y 1:6 están alrededor de 160 y 50  $\text{kg}/\text{cm}^2$  respectivamente, y el coeficiente de variación alrededor del 15%.

La resistencia a la ruptura por compresión para los muros con mortero 1:6 resulta, experimentalmente, alrededor de 0,40 de la resistencia de la unidad. Si adoptamos un coeficiente de seguridad 4, la carga unitaria admisible en el muro será 1/10 de la carga unitaria de ruptura de la unidad.

De los resultados de ensayos a cargas horizontales se puede estimar que los muros de ladrillos de arcilla cocida moldeados a máquina, rejilla y macizo tienen una resistencia al corte superior en más o menos un 50% a la de ladrillos de chonchón. Esto y la menor variabilidad en la calidad de los primeros autoriza para proponer, tanto con mortero 1:6 como mortero 1:3, que las cargas unitarias admisibles sean por lo menos un 50% superiores para estos tipos de ladrillos. Si adoptamos 1  $\text{kg}/\text{cm}^2$  como carga unitaria admisible al corte para muros con ladrillo chonchón, para ser consecuentes, deberíamos adoptar por lo menos 1,5  $\text{kg}/\text{cm}^2$  para ladrillos rejilla y macizo.

Los diferentes módulos de elasticidad en compresión obtenidos para los distintos tipos de muros sugieren que es erróneo considerar, como ha sido práctica de diseño sísmico en Chile, una misma rigidez cualquiera que sea el tipo de la albañilería.

Finalmente, los resultados de ensayo de las albañilerías armadas indican que este sistema constructivo es susceptible de ser empleado, incluso con las unidades actualmente disponibles en el mercado, y además permiten establecer cargas unitarias admisibles para el diseño.

## AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero civil señor Arturo Arias, Director del IDIEM quien propuso la ejecución de las experiencias, participó en su desarrollo y examinó un borrador de este trabajo. A los ingenieros civiles señores Eugenio Retamal, Jorge Egan Emile Sanders, Luis A. Crenovich, Eduardo Hamel, Osvaldo García, Isaías Krieger y Tomás Guendelman, quienes tuvieron a su cargo la realización de los ensayos y participaron activamente en la discusión de los resultados. Y muy en especial al personal de la Sección Elementos Prefabricados del IDIEM por su colaboración. A las fábricas de ladrillos Cerámica Princesa S.A. y a Vibrocet S.A. que donaron los ladrillos de su fabricación utilizados en la experiencia.

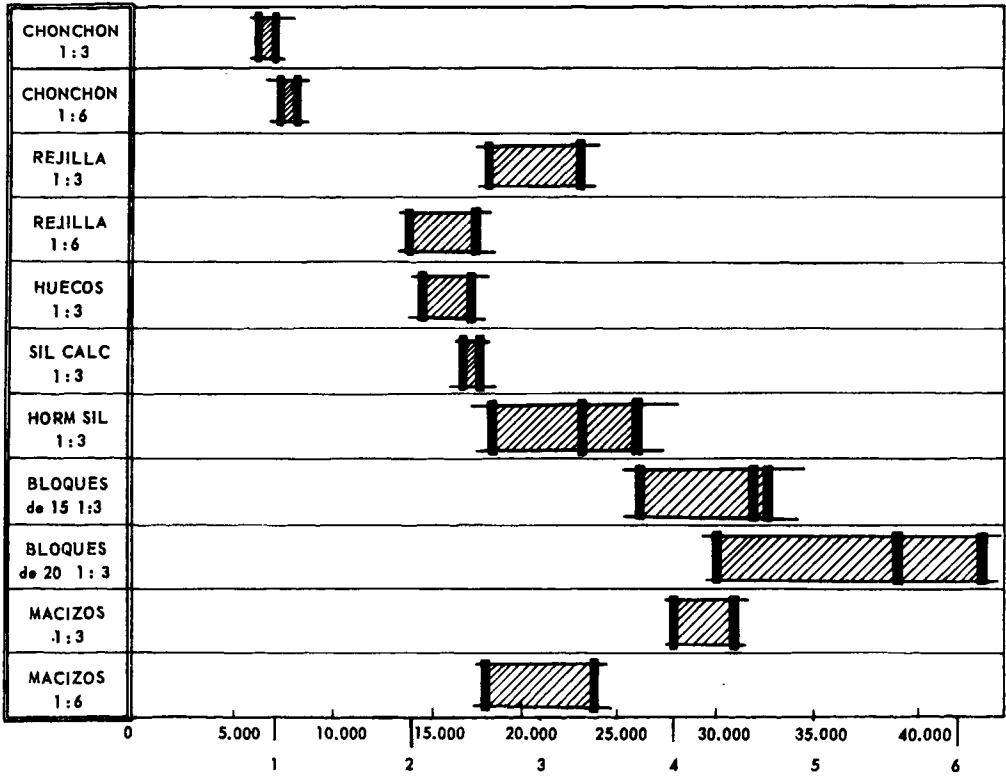


Fig. 34. Módulo de elasticidad, E, medido en los ensayos de compresión de muros.

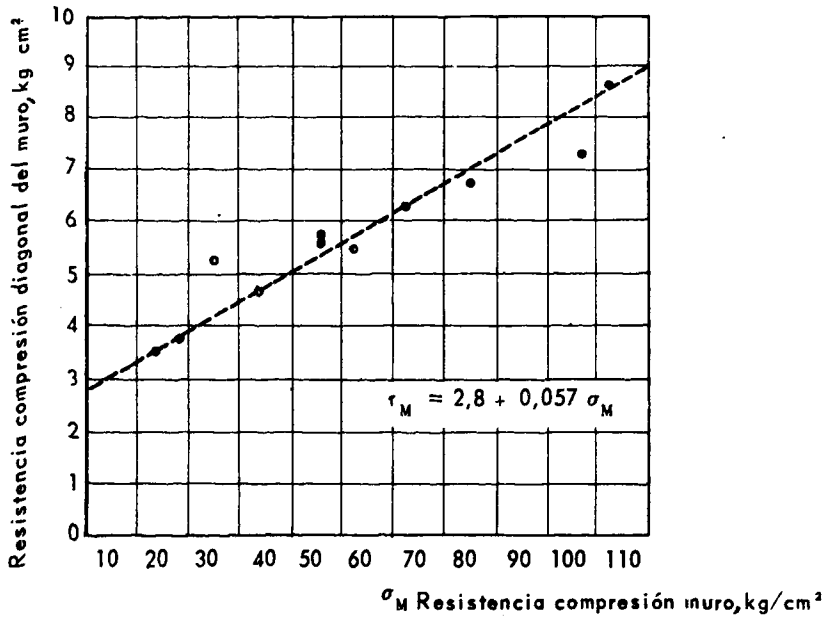


Fig. 35. Relación entre la carga unitaria de ruptura por compresión simple y por compresión diagonal en muros de albañilería simple.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- IBAÑEZ, J. Informe sobre ensayos para conocer la resistencia horizontal del muro de albañilería. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, LXVIII, n° 7 y 8, julio-agosto 1955, pp 325-8
- 2.- ARRIAGADA, C. Ladrillos de suelo cemento. Memoria de prueba para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, (1957), dactilografiado.
- 3.- RETAMAL, E.; EGAN, J. Estudio experimental de muros de albañilería. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1960. Santiago, 222 p.
- 4.- HAMEL, E.; GARCIA, O. Muros de albañilería armada y su comportamiento a esfuerzos horizontales en su plano. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. 1963. Santiago. 210 p.
- 5.- KRIGUER, I.; GUENDELMAN, T. Estudio experimental de muros de albañilería reforzada sometidos a esfuerzos horizontales en su plano. Memoria para optar al título de ingeniero Civil, Universidad de Chile. 1962. Santiago.
- 6.- BENJAMIN, J.R.; WILLIAMS, H.A. Investigation of shear walls. Technical Reports. Department of Civil Engineering, Stanford University. Stanford, California. 1952-1955.
- 7.- BENJAMIN, J.R.; Statically Indeterminate Structures. Mc Graw Hill. 1959.
- 8.- PLUMMER, H.C.; BLUME, J.A. Reinforced Brick Masonry and Lateral Force Design. Structural Clay Products Institute. Washington. 1956.
- 9.- PLUMMER, H.C. Brick and Tile Engineering. Handbook of Design. Structural Clay Products Institute. Washington. 1957.
- 10.- ESTEVA, L. Comportamiento de muros de mampostería sujetos a carga vertical. Revista de Ingeniería, octubre 1961. México.
- 11.- ROSENHAUPT, S. Experimental Study of Masonry walls on beams. Journal of the Structural Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. volume 88 n° ST3, june 1962. Parte I.
- 12.- JORQUERA, L. Calidad de los ladrillos y bloques para albañilería. Revista del IDIEM, vol 1, n° 2, junio 1962.
- 13.- BROCKER, O. Resistencia de muros y capacidad absorbente de ladrillos. Die Ziegelindustrie 1954, n° 2 pp 35-38.
- 14.- MONK, C.B. Transverse Tests of Masonry Walls. Symposium on Testing of Building Constructions, American Society for Testing Materials, ASTM, 1954.
- 15.- RICHART, F.E.; MOORMAN, R.B.B.; WOODWORTH. Strength and Stability of Concrete Masonry Walls. University of Illinois. Engineering Experiment Station. Bulletin n° 251, julio 1932.
- 16.- American Standards Association. American Standard A41.2-1960. Especificaciones para el diseño y construcción de albañilerías armadas. Traducción. Centro de la Vivienda y Construcción Informe n° 10, enero 1963. Universidad de Chile. Santiago. 37 p.
- 17.- U.S. National Bureau of Standard, Building Materials and Structures BMS 5. Structural Properties of Six Masonry Wall Constructions. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 18.- American Society for Testing Materials ASTM E 72. Standard Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction.
- 19.- LAMANA, A. Calidad del hormigón y del acero para hormigón armado de las construcciones sometidas a los terremotos de mayo de 1960 en el sur de Chile. Revista del IDIEM, vol 1, n° 1, marzo 1962. Santiago. Chile.
- 20.- Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización. INDITECNOR. Santiago. Chile:

- 30-37 ch Calidad y composición granulométrica de los agregados pétreos para hormigones.
- 30-38 ch Extracción de muestras de agregados.
- 30-39 ch Tamizado de agregados.
- 30-40 ch Determinación colorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones.
- 30-54 ch Ensayos de ladrillos arcillosos.
- 30-55 ch Ladrillos arcillosos macizos.
- 30-56 ch Ladrillo arcilloso hueco.
- 30-62 ch Hormigones de cemento.
- 30-63 ch Extracción de muestras del hormigón fresco.
- 30-77 ch Mezcla, colocación en obra y curado del hormigón.
- 30-92 E ch Cementos con agregado tipo A.
- 30-150 ch Ladrillos de hormigón silíceo.
- 30-152 ch Bloques huecos de hormigón de cemento.
- 30-154 ch Ensayos de bloques de hormigón.

#### AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE STRENGTH OF MASONRY WALLS SUBJECTED TO HORIZONTAL LOADS

##### SUMMARY:

*Masonry walls (8 ft x 8 ft) were tested to horizontal loads applied at the upper edge through a hydraulic jack. Overturning was prevented by vertical tension rods incorporated in the testing device.*

*For some of the walls these rods were attached to the upper edge at the same corner where the horizontal load was applied (racking load test); for the rest of the walls the tension rods were connected to one end of the base beam (cantilever load test).*

*The units used in the walls were: hand-made clay bricks, machine-made clay bricks, sand lime bricks, mortar silica bricks, and hollow concrete blocks. The walls tested were of three types: a) without any reinforcement; b) reinforced masonry walls, and c) walls with a reinforced concrete frame. Cement sand mortar was used, with two different proportions, 1:3 and 1:6 by volume.*

*Compression tests were also made on 4 ft x 8 ft unreinforced masonry walls and smaller reinforced masonry walls.*

*A comparison of strengths and stiffnesses of the different types of walls tested can be made through the tests results.*