

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE REPARACION DE MUROS DE ALBAÑILERIA

Ernesto GOMEZ*
Juan OLIVARES**

RESUMEN

Se realizó un trabajo experimental para estudiar soluciones de reparación de muros de albañilería dañados, especialmente por sismos. Se ensayaron probetas de ladrillos y bloques a cizalle y a tracción, muritos y muros a carga horizontales en su plano y posteriormente se repararon y se volvieron a ensayar. Las reparaciones comprendieron: mortero de cemento, resinas epóxicas, platabandas pegadas, llaves de hormigón, tarugos de hormigón, fierro a través de las grietas, cordones superficiales de mortero de resina y fibras de vidrio pegadas con resina.

Se describen los ensayos y los procedimientos de reparación, se presentan los resultados y se dan conclusiones sobre las reparaciones más convenientes para los diferentes tipos de daños.

INTRODUCCION

Desde hace mucho tiempo se ha utilizado albañilería de ladrillos y de bloques en todo el mundo. De las variadas aplicaciones que tiene este sistema constructivo, nos interesa su uso en nuestro país en muros, sean ellos soportantes o estructurales, sean de tabiquería divisoria.

Un gran número de las construcciones chilenas para viviendas de uno y dos pisos están estructuradas a base de muros de ladrillo de arcilla cocida reforzados

* Investigador de IDIEM.

** Ingeniero Civil.

por pilares y cadenas de hormigón armado. Se puede afirmar que ese es uno de los sistemas tradicionales de construcción del país. Los tabiques divisorios suelen ser, también, de ladrillos de arcilla.

Los muros de bloques huecos de hormigón, aunque empezaron a usarse en Chile sólo hace algunas décadas, también han tenido mucha aplicación en viviendas de estructuración semejante a aquella mencionada anteriormente.

Ambos tipos de muros tienen propiedades muy apreciables desde el punto de vista de la habitabilidad, a saber, buena aislación térmica y acústica e incombustibilidad; a ellas se debe el favor de que gozan. Su comportamiento como elementos soportantes es, en general, bueno con cargas verticales. Respecto a los esfuerzos horizontales, sean en su plano sean normales a él, el comportamiento depende en gran medida de la unión entre el mortero y los ladrillos o bloques. Así es porque, siendo la albañilería una combinación de piezas prefabricadas y material ligante, su capacidad resistente horizontal está determinada por la adherencia mortero pieza, que es, casi siempre, el eslabón más débil del conjunto. La calidad del mortero de pega juega, pues, un papel fundamental en esa resistencia.

En terremotos ocurridos en algunas zonas del país, como el de La Ligua, de marzo de 1965^{1,2}, y el de Tocopilla, de diciembre de 1967³, los daños en muros de bloques huecos fueron cuantiosos y en ellos ha quedado de manifiesto la debilidad de las uniones. En un estudio experimental realizado en IDIEM⁴ se encontró que podían producirse diferencias de hasta 1:12 en las resistencias de las uniones preparándolas según diferentes procedimientos. Está dentro de lo probable que en la práctica constructiva se esté en la zona de las bajas resistencias (por debajo de 1 kgf/cm² de adherencia) y esto explica los daños mencionados.

Las albañilerías de bloques de hormigón se pueden mejorar adoptando procedimientos eficientes de unión o armándolas con barras de acero verticales a través de los huecos y horizontales en las uniones. La construcción de albañilerías armadas ha sido objeto de varios estudios en Chile^{5,6}, pero no se ha incorporado, todavía, a las prácticas constructivas.

Con ladrillos de arcilla cocida no se producen diferencias tan grandes en la resistencia de las uniones como con bloques, porque hay menos variaciones en los procedimientos de colocación. A pesar de ello y de que la adherencia entre ladrillo y mortero sea generalmente mayor que entre bloques y mortero, se conocen muchos casos de daños producidos en estas albañilerías en diferentes terremotos, especialmente en aquellos en que predominan los períodos cortos, como en el de Skopje de 1963⁷, mientras que en los de período largo, como el de Alaska de 1964⁸, estas albañilerías resisten bien. En Chile se constataron daños moderados en albañilerías de ladrillo en el terremoto de La Ligua^{1,2}, y daños cuantiosos en el terremoto de julio de 1971, en el valle del Choapa^{8,9}.

En ese último caso, el 60% de un total de 1.077 viviendas quedaron seriamente dañadas y de ellas 150 debieron considerarse como destruidas⁹. Se tra-

taba, sí, de viviendas económicas de un piso con muros de albañilería de ladrillos de 15 cm de espesor, sin pilares, con los ladrillos trabados en las esquinas y con cadenas.

Se puede afirmar, en forma general, que las albañilerías no armadas pueden originar serios problemas en zonas sísmicas, si no se cuida su ejecución. Con una tecnología adecuada de construcción, en cambio, los riesgos de daños son menores, pero subsiste en un grado no pequeño, especialmente por terremotos de períodos cortos. Como, por otra parte, tanto las viviendas ya construídas por este sistema como las que se construirán en el futuro, podrán ser afectadas por los sismos venideros, cada cierto tiempo se presentará el problema de reparar muros de albañilería.

Este trabajo tuvo por objeto hacer un estudio experimental de posibles soluciones de reparación.

PROGRAMA DE EXPERIENCIAS

Análisis del problema

El punto de partida en la formulación del programa de ensayos está en conocer qué tipos de averías se producen con más frecuencia en los muros afectados por movimientos sísmicos para deducir los mecanismos de falla y las soluciones de reparación más adecuada.

La observación de los efectos producidos por varios terremotos revela una serie de daños o modos de fallas característicos en los muros de albañilería. Ellos son: despegue de las juntas horizontales de las hiladas; grietas diagonales siguiendo, generalmente, la unión entre ladrillos, y separación entre ladrillos y pilares, cadenas o cimientos. En las Figs. 1 y 2 se ilustran algunos de estos daños.



Fig. 1. Daños producidos por un sismo en muros de ladrillos. Terremoto de julio de 1971, Valle del Choapa.



Fig. 2. Grietas típicas ocasionadas por sismos en muros de albañilería. Terremoto de julio de 1971, Valle del Choapa

Es evidente que los despegues horizontales son ocasionados por esfuerzos de esa dirección en el plano y que las grietas diagonales pueden originarse sea por esfuerzos horizontales en el plano sea por esfuerzos horizontales normales al plano. En ambos casos el mecanismo de falla es el agotamiento de la adherencia por efecto de cizalle, o un despegue entre piezas y material ligante por efecto de tracción, que puede actuar separado o en conjunto con el anterior. Estos dos mecanismos cubren la mayor parte de los casos de daños observados y son ellos los que deben investigarse.

Otro punto es fijar la metodología de ensayo y en parte queda aclarado por las consideraciones anteriores; lo que falta por aclarar debe analizarse a la luz de las posibles soluciones de reparación. En distintas partes del mundo se han efectuado reparaciones de muros dañados por terremotos o por otras causas, entre ellos ensayos hasta rotura en trabajos experimentales. En general estas soluciones se basan en criterios de ingeniería adecuados a cada caso. En Chile se han hecho aplicaciones extensivas de soluciones que comprenden inyecciones de mortero, uso de tarugos de hormigón, llaves de hormigón y costuras con fierros¹. En otros países^{2,13,14} se han usado inyecciones de resinas epóxicas, platabandas exteriores de acero pegadas con resina, mortero proyectado y otros. algunos de estos procedimientos sirven tanto para albañilerías como para hormigón y otros, en cambio, sólo para hormigón. Todos ellos han dado buenos resultados prácticos en determinadas condiciones y servirán de base a nuestras experiencias.

En resumen, el programa de ensayos tendrá por objetivos, en primer lugar, medir la adherencia por cizalle y por tracción de ladrillos y bloques para obtener cifras básicas, y esto se puede lograr cabalmente y con facilidad en probetas pequeñas de dos o tres unidades pegadas con ligantes. Existen métodos normalizados o probados prácticamente con éxito para hacer estas mediciones: para la primera solicitud se eligió el método de la norma INN Nch 167of54¹⁵ y para la segunda el descrito por C. Larraín¹⁶ en su memoria de título.

En segundo lugar, hay que probar la eficacia de soluciones específicas, tales como, llaves, tarugos, barras de acero de costura y éstas se deben estudiar en probetas de mayor tamaño ensayadas con cargas horizontales. Se optó por muritos de 1 m x 1 m para obtener el máximo de información sobre este aspecto y por coronar el estudio con el ensayo de algunos muros de dimensiones semejantes a las de paños de construcción corrientes. Las dificultades prácticas y el costo de los muros imponen como condición limitar su número sólo al necesario para poner a punto las conclusiones de las series de menor tamaño y para estudiar las soluciones que no se hubieran incluido en aquéllas.

El ensayo de muros con cargas horizontales en su plano se ha efectuado por muchos métodos. Mayes y Clough¹² presentan una revista que abarca los diversos procedimientos utilizados por varios investigadores. En nuestro caso elegimos el ensayo llamado por tracción diagonal, en que se somete el muro simultáneamente a una carga horizontal, aplicada en una cadena de hormigón

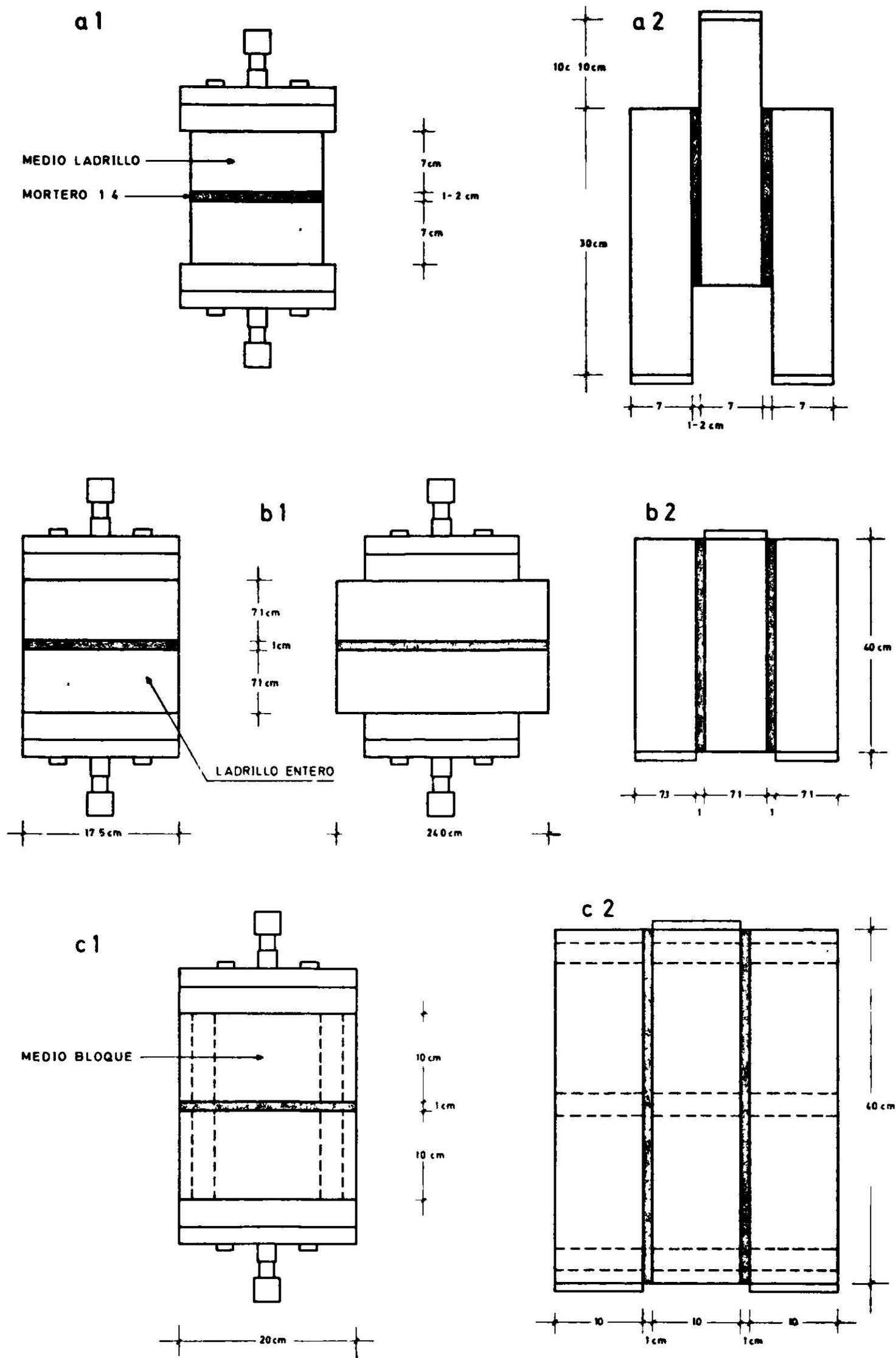


Fig. 3. Forma y dimensiones de las probetas para ensayo de tracción y de cizalle. a1) tracción ladrillos de chonchón, a2) cizalle ladrillos chonchón; b1) tracción ladrillos de rejilla, b2) cizalle de ladrillos de rejilla; c1) tracción bloques huecos, c2) cizalle bloques huecos.

armado que lo corona, y a una carga vertical de compresión, ejercida por tirantes de sujeción que actúan en el mismo vértice en que se aplica la carga anterior.

Tanto en las probetas como en los muritos y en los muros se realizaron los ensayos indicados anteriormente hasta la rotura y posteriormente se repararon con alguna de las soluciones programadas y se volvieron a ensayar.

Ensayos realizados

Originales

Las series originales constaron, según se ha expuesto anteriormente, de probetas de cizalle y de tracción; muritos de 1 m x 1 m, y muros de 2.40 m x 2.40 m.

Probetas. Hubo una serie de 20 probetas para ensayo con ladrillos arcillosos hechos a mano (chonchón) tamaño fiscal (30 x 15 x 7 cm); otra de igual número con ladrillos arcillosos hechos en fábrica tipo rejilla de 24 x 17.5 x 7.1 cm, y una tercera, también del mismo número, con bloques de hormigón de dos huecos, de 10 x 19 x 39 cm.

En todos los casos se usó mortero de pega 1:4 en volumen, con arena seca bajo malla N° 4 y con una cantidad de agua que diera una mezcla trabajable según apreciación directa del preparador.

La forma y dimensiones de las probetas se muestran en la Fig. 3.

Muritos. Se hizo una serie de 3 muritos de ladrillos arcillosos hechos a mano, tamaño fiscal; una serie de 3 muritos de ladrillos arcillosos hechos en fábrica, de 23.5 x 17 x 11 cm, y una serie de bloques huecos de hormigón, de 39 x 19 x 19 cm.

El mortero de unión tenía las mismas características que el que se usó en las series de las probetas.

Los muritos se construyeron sobre una cadena inferior de hormigón armado y se curaron al aire libre, mojando las superficies del muro dos o tres veces al día los primeros tres días. Dos semanas después de construídos se les agregó una cadena superior de hormigón armado.

Se ensayaron por el método de tracción diagonal en la forma que se indica en la Fig. 4.

Se midieron deformaciones en las diagonales principales por medio de diales conectados a alambres de cobre, que detectaban los alargamientos o acortamientos producidos a intervalos regulares de carga hasta la rotura.

Muros. Se hicieron dos muros de ladrillos arcillosos hechos a mano y dos muros de bloques de hormigón.

El mortero de unión era de las mismas características que en los dos casos anteriores.

Se construyeron sobre una cadena inferior de hormigón armado y sobre la hilada superior se agregó una cadena de hormigón armado.

El procedimiento de preparación fue similar al que se empleó en los muritos.

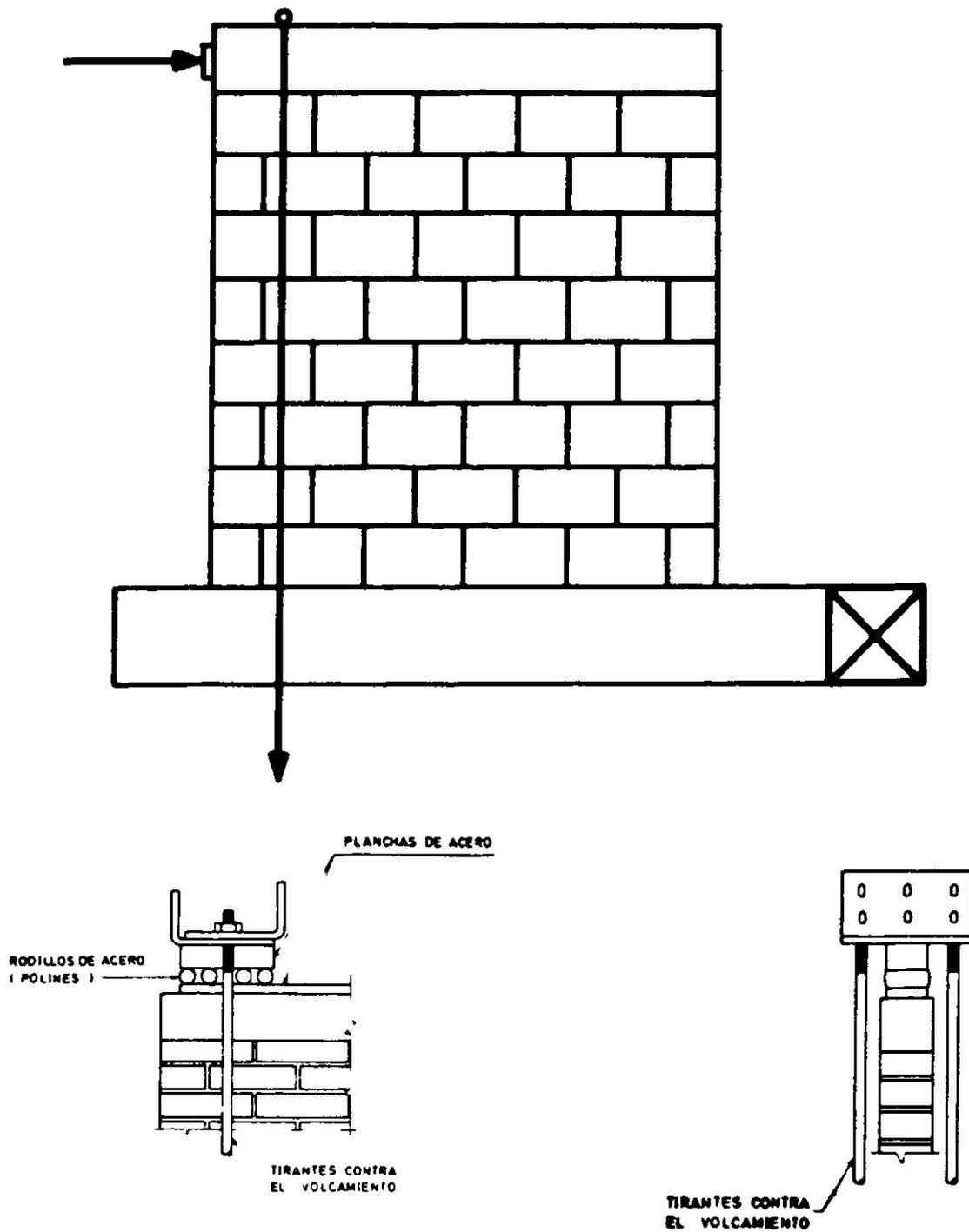


Fig. 4. Esquema del ensayo de tracción diagonal y detalle a escala ampliada de colocación de tirantes de sujeción.

El método de ensayo fue básicamente el mismo que en los muritos, sólo que en este caso se agregó un sistema de sujeción de la cadena inferior para evitar que ésta se levantara durante el ensayo. Además, se usaron cuatro tirantes tubulares de sujeción de la cadena superior, en cada uno de los cuales se instaló una cuerda vibrante para medir las deformaciones unitarias y deducir la carga vertical actuante.

Para medir las deformaciones de las diagonales principales en el caso de los muritos se había utilizado un sistema de alambres delgados de cobre, tal como se mencionó anteriormente. Este procedimiento no dio resultados consistentes, por su demasiada flexibilidad. En consecuencia, se adoptó en el caso de los muros un dispositivo corregido, en que los alambres se reemplazaron por tubos rígidos de fierro de 12 mm de diámetro que, para soportar su peso, se montaron sobre ruedecillas fijas al muro. Estos tubos estaban articulados en su extremo superior —solidario al muro— y en el otro extremo llevaban un tope ligado al dial de medición.

En la Fig. 5 se muestran algunas de las disposiciones del ensayo.

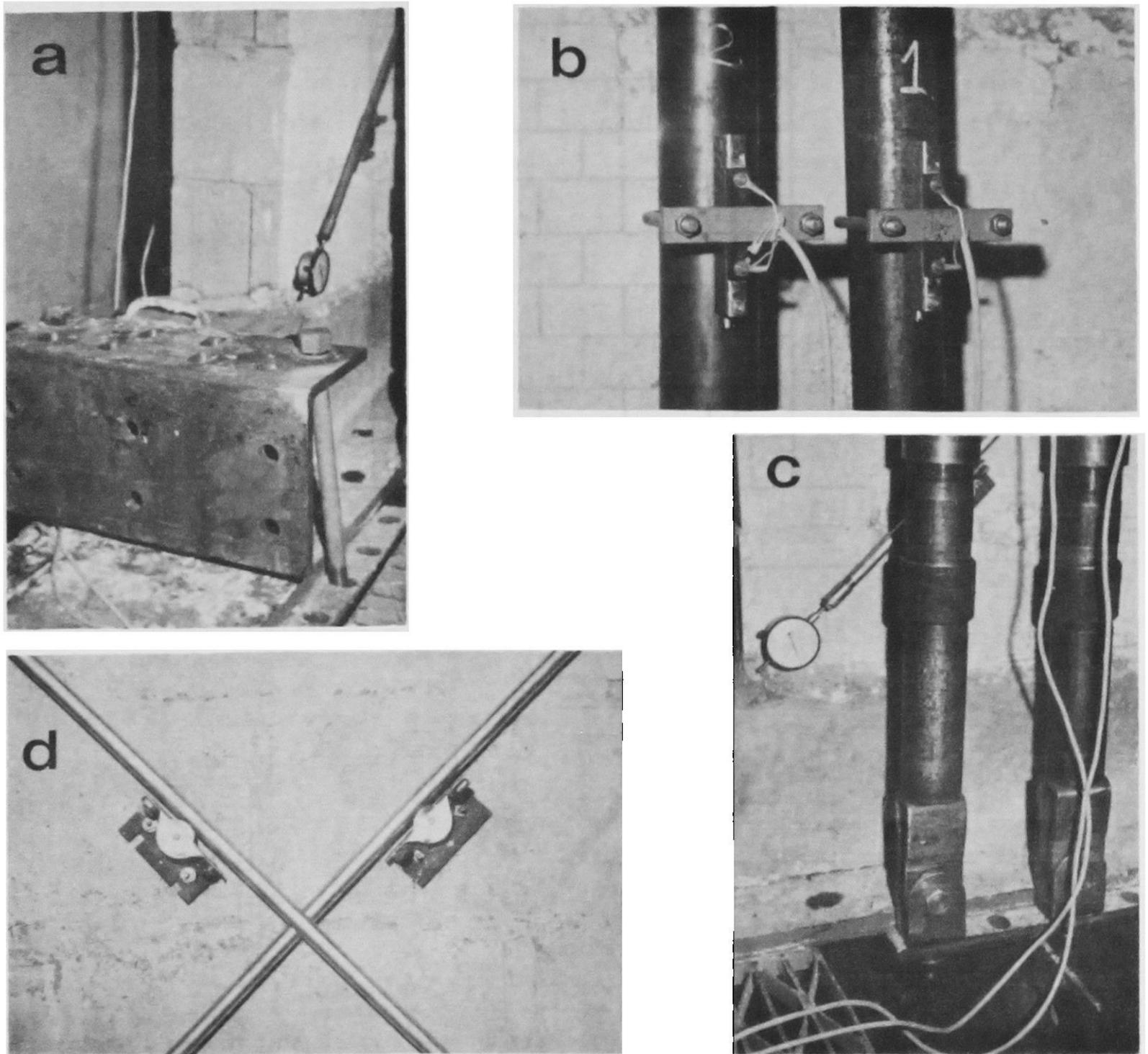


Fig. 5. Detalles del ensayo de muros. a) Sujeción de la cadena inferior. b) Extensómetro de cuerdas vibrantes en los tirantes. c) Tirantes de sujeción. d) Tubos para medición de deformaciones.

Reparaciones

Probetas. Para reparar las probetas después de la rotura provocada por el ensayo de tracción o de cizalle se usaron los siguientes procedimientos.

Aplicación de mortero de cemento 1:2 en peso, con arena bajo malla # 30 y un aditivo expansivo en un 2^o/o del peso del cemento. La composición de este mortero es adecuada para inyección, pero en el caso presente, por falta de equipo de inyección y por la complejidad del procedimiento, se aplicó el mortero directamente a una de las superficies falladas, después de escobillarla con cepillo de fibra de acero y de humedecerla y se colocó sobre ella la otra mitad de la probeta.

Aplicación de resina epóxica en forma de mortero 1:1 en peso, con arena bajo malla nº 30. Esta formulación es apta para inyección, sin embargo, por las mismas razones ya expresadas, se usó en forma de capa esparcida directamente

sobre una de las caras de la junta fallada, después de escobillarla con cuidado, y luego se colocó sobre ella la otra parte de la probeta.

Aplicación de cordones de mortero epóxico. Este procedimiento consistió en profundizar el contorno de la grieta con una ranura en forma de V, con poco más de 1 cm de penetración, y después de limpiar los bordes para eliminar las partículas sueltas, cubrir con resina pura ambas caras de la ranura y a continuación, antes que aquélla se endureciera, rellenar el corte con mortero epóxico de igual formulación que el anterior.

Pegado de platabandas de acero perpendicularmente a la grieta, para lo cual se picó la zona en que se colocaba la platabanda en una profundidad a lo menos igual a su espesor, luego se limpió, se dio una mano de resina pura a la superficie picada y a la platabanda y se aplicó una pequeña capa de mortero epóxico para emparejar esa superficie y a ella se pegó la platabanda. Se usaron láminas de acero de 15 x 15 x 0.5 cm. En la Fig. 6 aparecen probetas reparadas con este procedimiento.

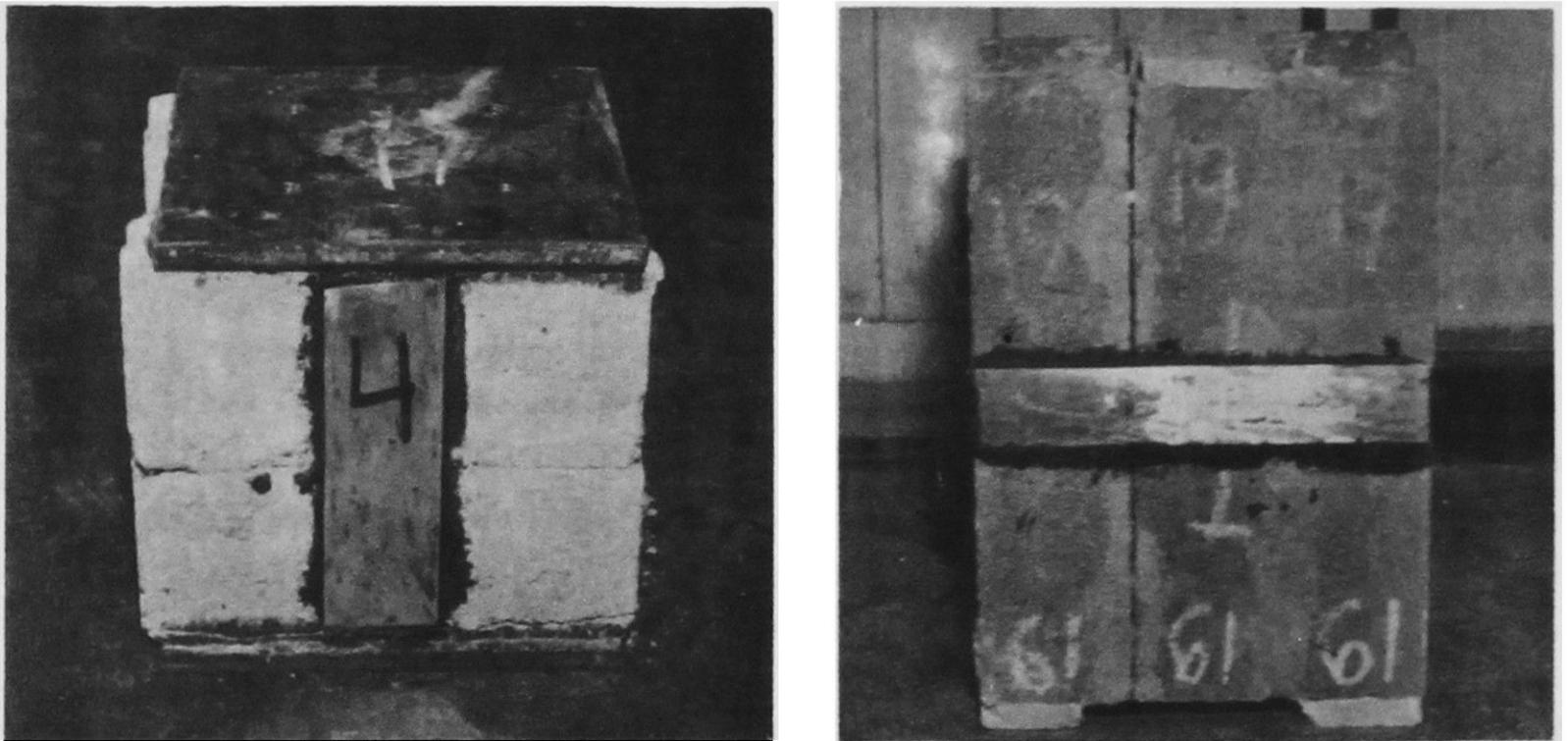


Fig. 6. Probetas reparadas con platabandas de acero pegadas con resina epóxica.

Pegado de fibras de vidrio en forma de fieltro en el contorno de la grieta, con resina epóxica. La superficie contigua a la grieta se escobilló para eliminar el material suelto que pudiera haber. Se aplicó resina en toda la faja en forma abundante para que impregnara la fibra, se colocó el fieltro sobre la capa de resina y se agregó más resina sobre aquél.

En la reparación de probetas de ladrillos hechos a mano se usaron los cinco procedimientos; en probetas de ladrillos hechos a máquina no se usó la reparación con mortero de resina, y en aquellas de bloques no se aplicó reparación ni con mortero de resina ni con mortero de cemento, en cambio, en ellas se aplicó una reparación con tarugos de hormigón. Consistió ésta en rellenar

los huecos de los bloques con hormigón, directamente en el caso de probetas de cizalle, o destapando previamente la cara lateral de un bloque en el caso de las probetas de tracción, Fig. 7.

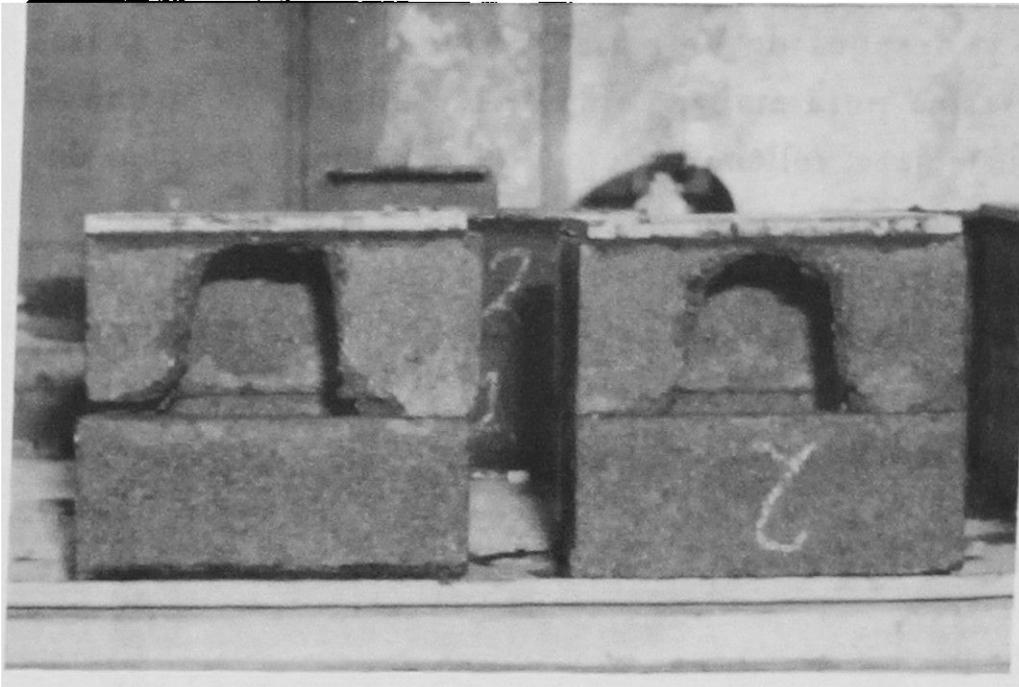


Fig. 7. Preparación de los bloques para reparación con tarugos de hormigón.

Muritos. Los muritos se hicieron para poner a prueba soluciones que, por sus características, no eran aplicables en probetas. La solución para cada caso particular se eligió en función del tipo de falla.

Así, uno de los muritos de ladrillo chonchón no se pudo reparar porque quedó muy dañado.

Otro falló por despegue de la viga sobre la cual estaba montado y se reparó con llaves de hormigón. El procedimiento consistió en picar en cada extremo del muro, a 10 cm del borde, un hueco de 15 cm de alto, 12 cm de largo y de todo el espesor del muro; se picó también la viga hasta descubrir los fierros de compresión; se colocaron dos ganchos de fierro que tomaban los de la viga y se rellenó con hormigón de clase E. La F 3. 8 ilustra los detalles de este procedimiento.

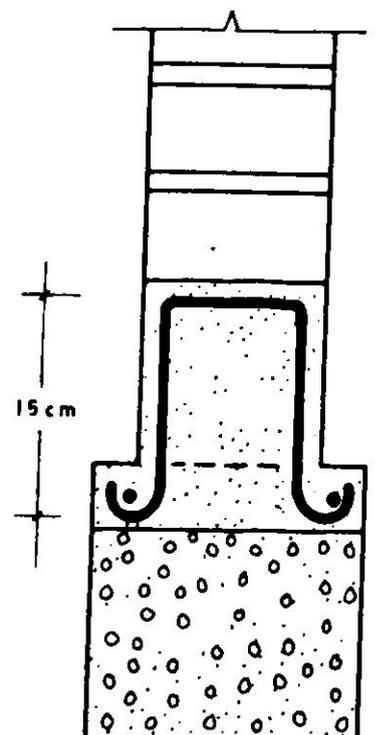


Fig. 8. Reparación con llaves de hormigón.

El tercer murito de ladrillo chonchón falló con una grieta diagonal, como se ve en la Fig. 9, y se reparó con costuras de acero. Se pican ranuras en V, normales

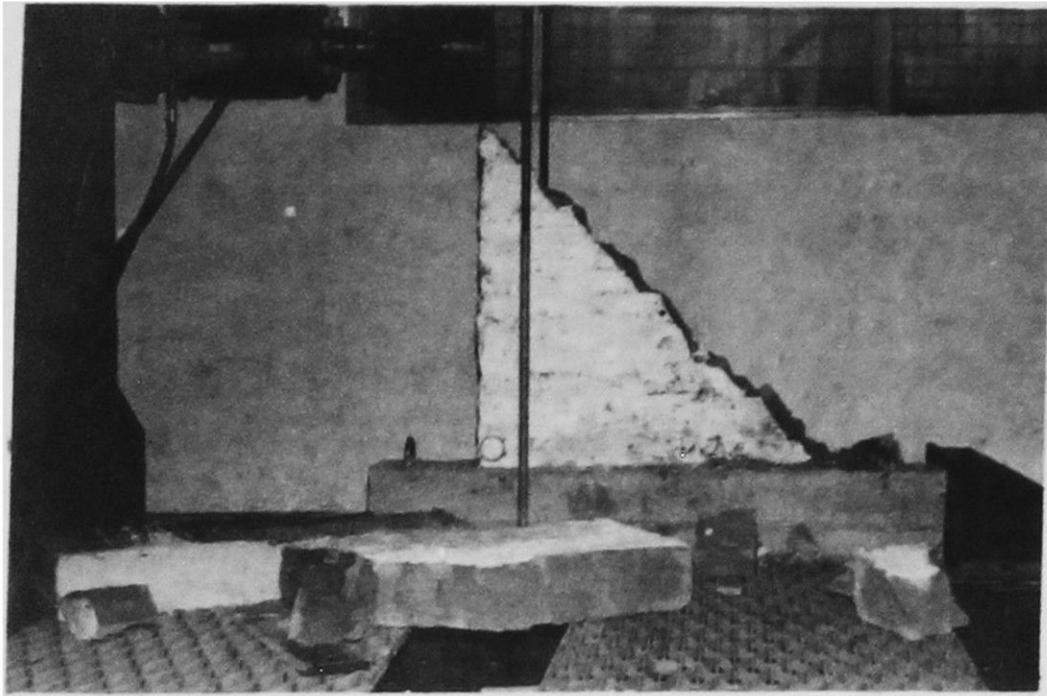


Fig. 9. Rotura diagonal de un murito de ladrillos chonchón.

a la grieta, de 40 cm de largo y de 5 cm de profundidad, alternadas a ambos lados del muro. En estas ranuras se alojan fierros de diámetro adecuado a la distancia entre ranuras y después se rellenan con mortero proyectado o colocado a mano.

Previamente se pica la grieta en toda su longitud en forma de V y también se rellena esta ranura con mortero proyectado o colocado a mano.

Uno de los muritos de bloques tuvo una falla horizontal en la junta inferior, como se aprecia en la Fig. 10. Se reparó con tarugos, según el procedimiento expuesto en la reparación de probetas, que se ilustra en la Fig. 11.

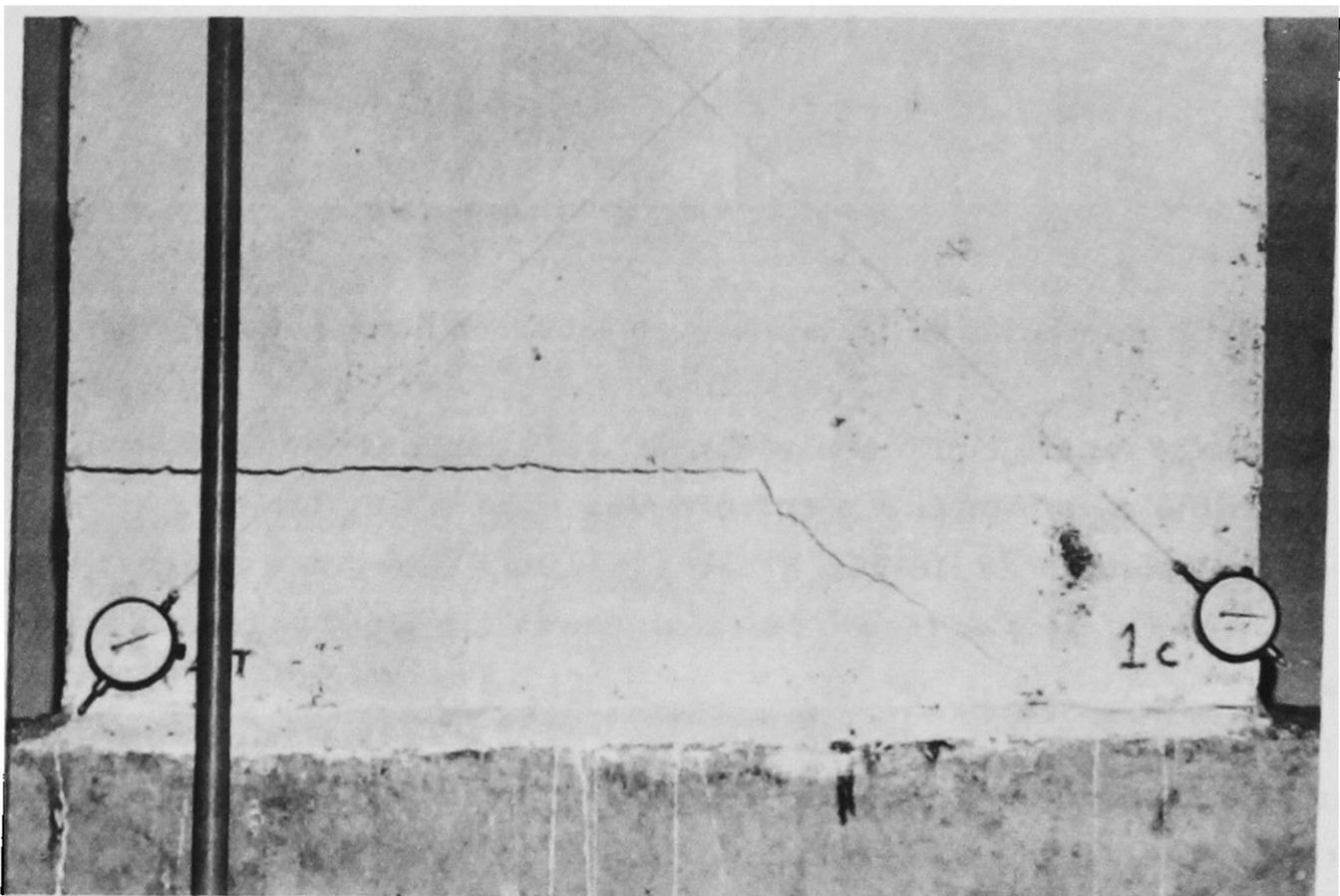


Fig. 10. Rotura por grieta horizontal de un murito de bloque.

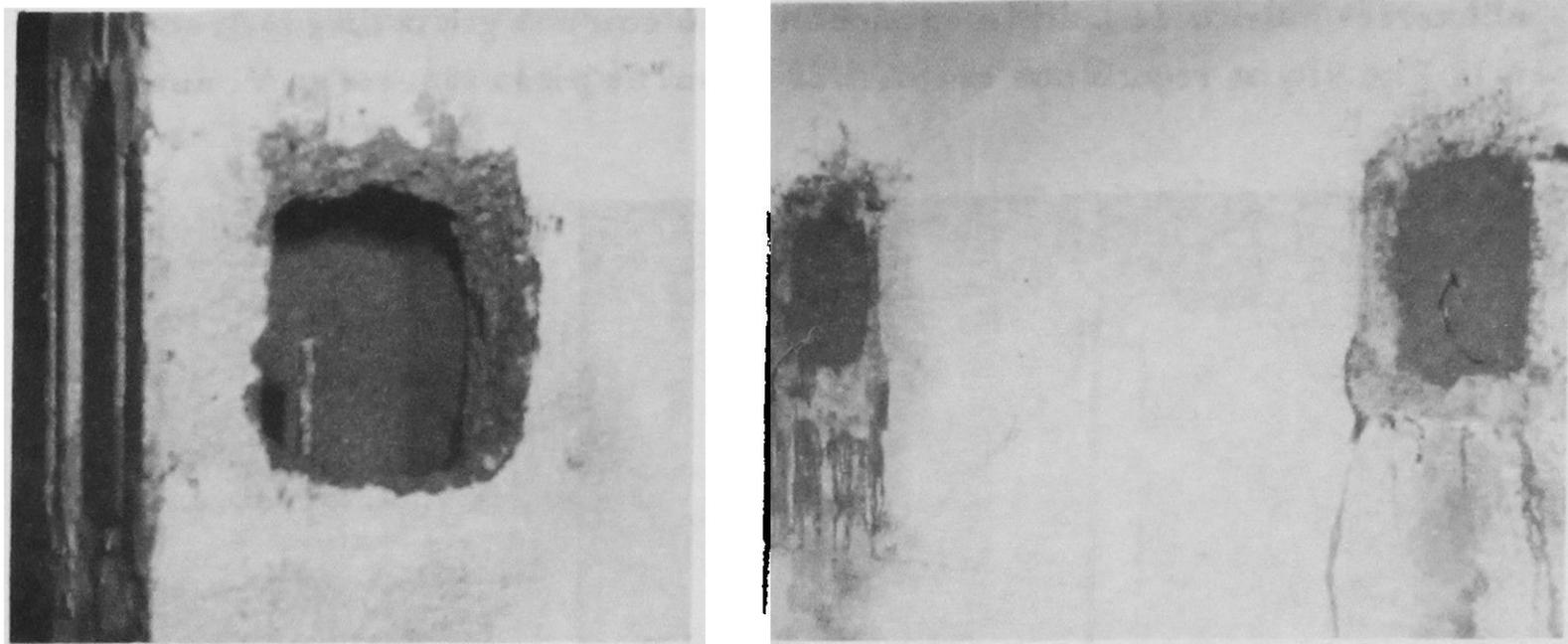


Fig. 11. Reparación de un murito de bloques con tarugos de hormigón.

Los otros dos muritos de bloques fallaron en igual forma que el primero. Uno de ellos se reparó con llaves de hormigón, que consisten en retirar dos bloques contiguos a la grieta, con herramientas apropiadas, colocar una armadura de ϕ 10 de refuerzo, limpiar, humedecer y rellenar con hormigón prepakt o colocado a mano. En la Fig. 12 se muestra la forma en que se hace esta reparación.

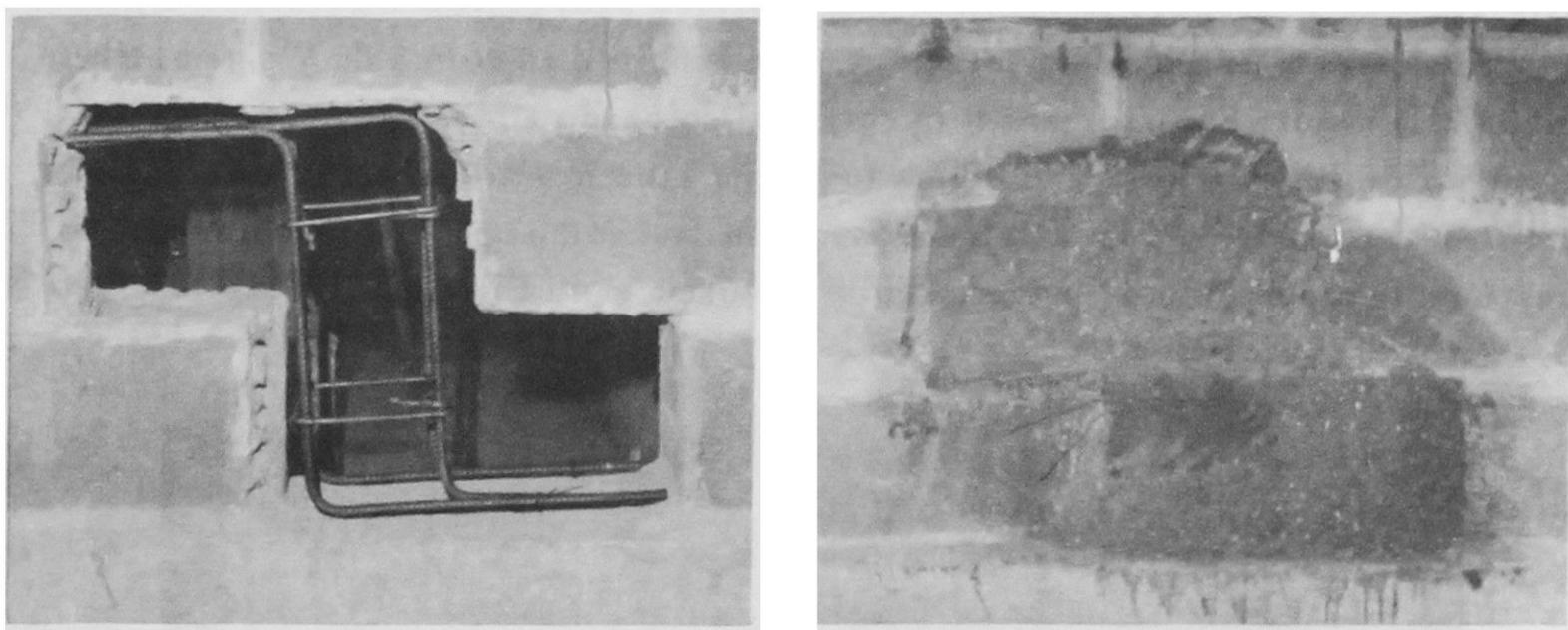


Fig. 12. Reparación de un murito de bloques con llaves de hormigón.

El tercero se reparó con platabandas de acero pegadas con mortero de resina, según se describió anteriormente y como se ilustra en la Fig. 13.

Uno de los muritos de ladrillos hecho a máquina falló con una grieta diagonal, según se ve en la Fig. 14 y se reparó con platabandas de acero pegadas con mortero de resina.

Otro de esos muritos de ladrillos hechos a máquina falló con una grieta horizontal en la primera hilada. Se reparó con llaves de hormigón, según ya se ha descrito y como se muestra en la Fig. 15.

El último de los muritos falló también a 45° y se reparó con costuras de fierro, conforme al procedimiento ya descrito, que se presenta en la Fig. 16.

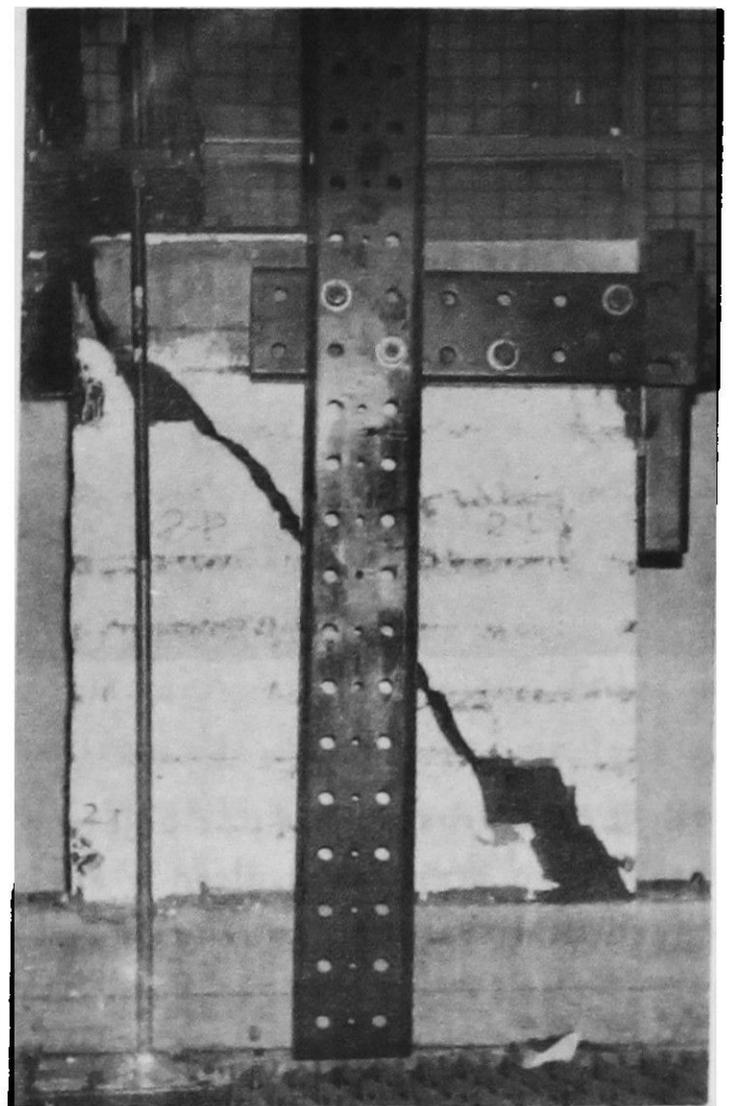
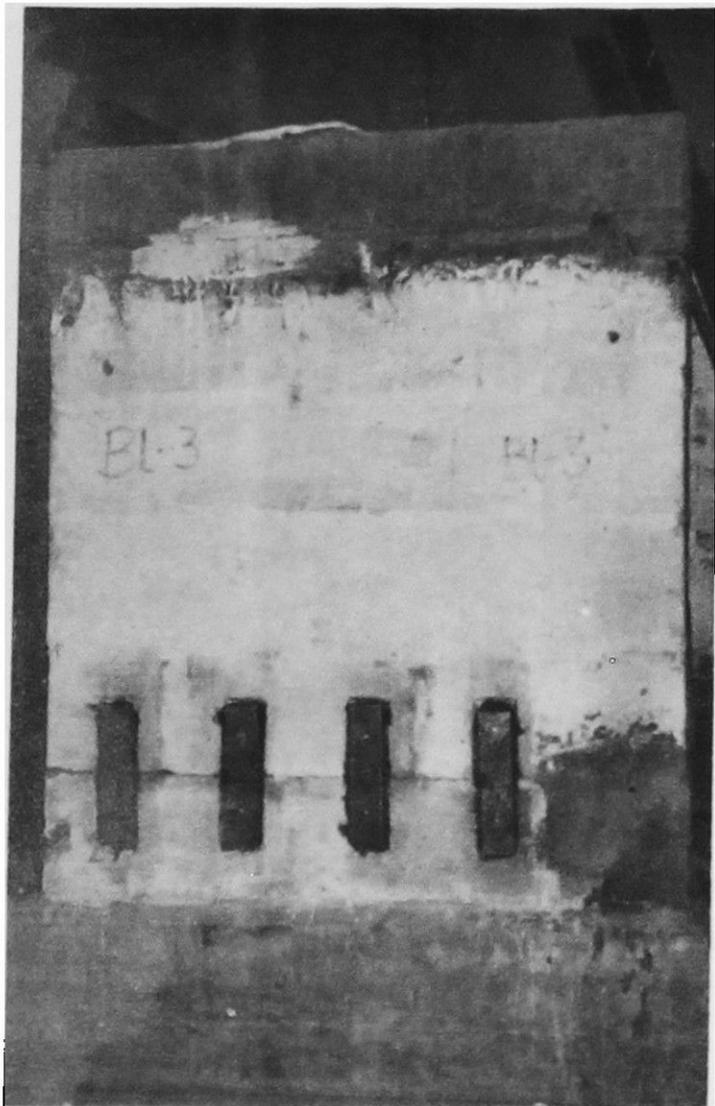


Fig. 13. Reparación de un murito de bloques con platabandas adheridas con resina epóxica.

Fig. 14. Rotura diagonal de un murito de ladrillos rejilla.

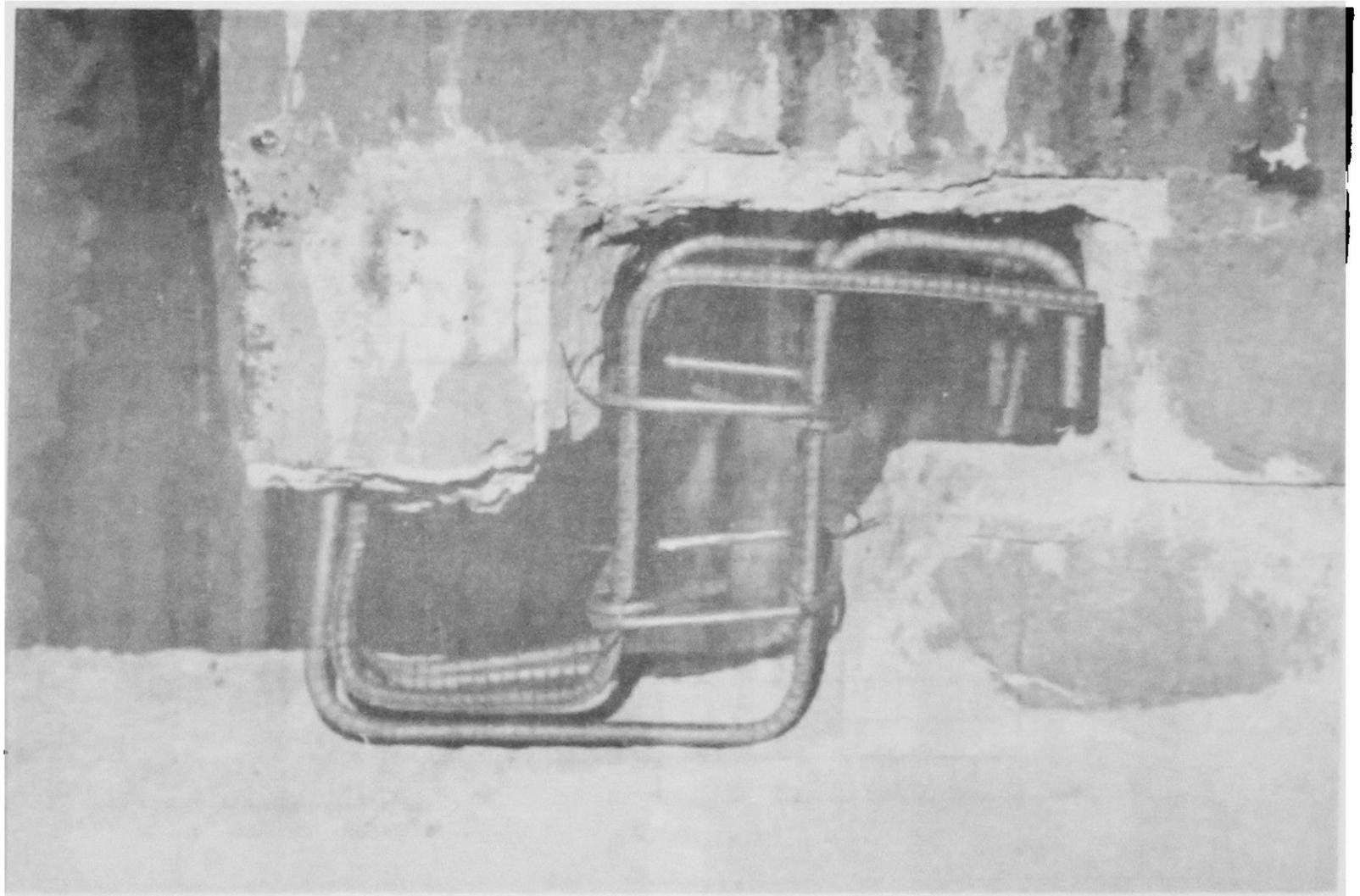


Fig. 15. Reparación de un murito de ladrillo rejilla con llaves de hormigón.



Fig. 16. Reparación de grieta diagonal de un murito de ladrillos rejilla con costuras de hierro.

Muros. Los muros tenían por objeto probar a escala natural las soluciones que hubieran dado mejores resultados en las series de probetas y muritos. En cada caso particular se aplicó aquélla que viniera mejor al tipo de falla producida en el ensayo original.

Como todos los muros quedaron muy averiados después del ensayo original, se aplicó una reparación principal para la grieta más importante y una serie de reparaciones secundarias para las grietas menores.

Uno de los muros de ladrillos chonchón no se pudo reparar. El otro falló por tracción diagonal, aunque la primera grieta fue horizontal y posteriormente se produjeron varias grietas horizontales adicionales, como se ve en la Fig. 17.

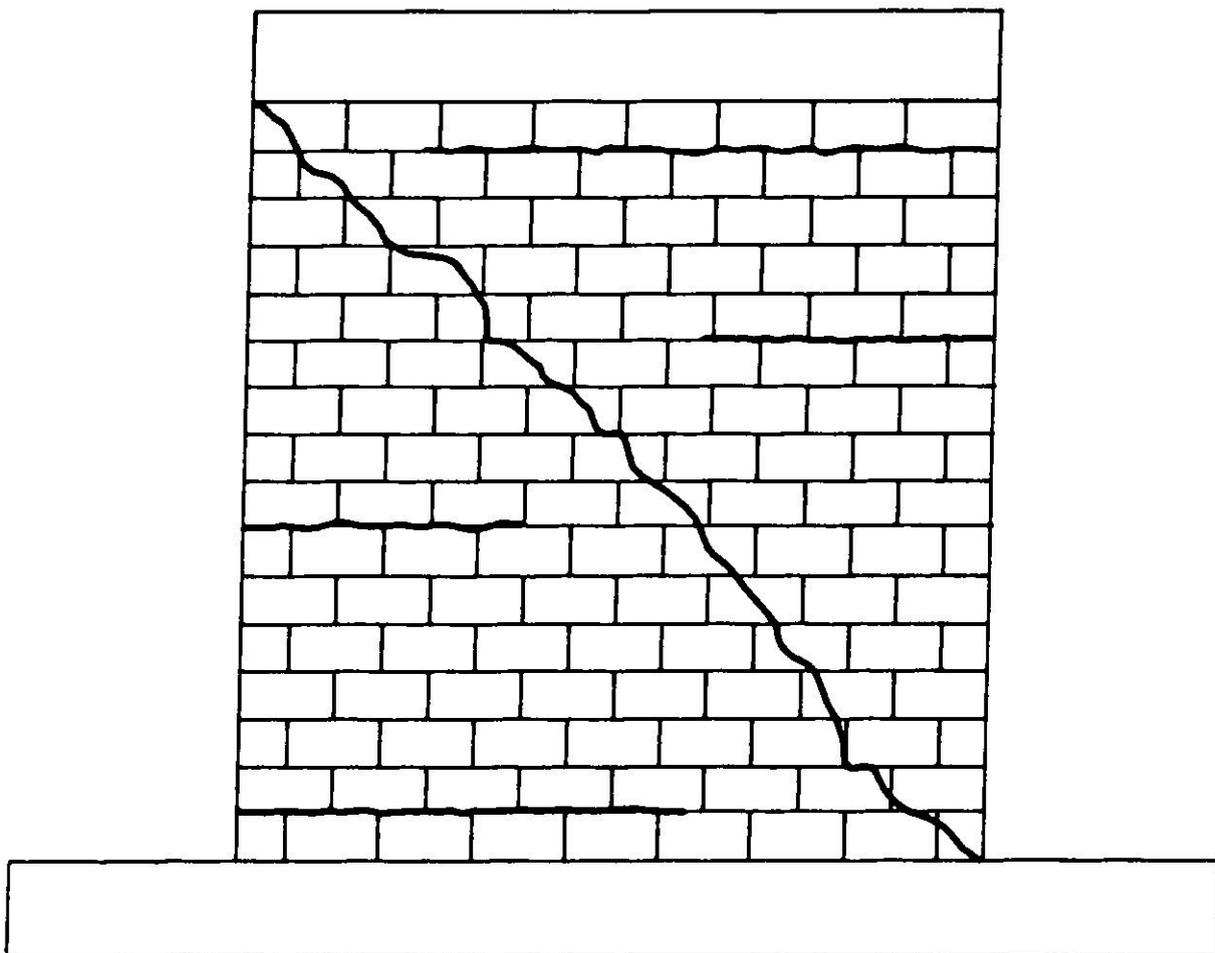


Fig. 17. Esquema de la falla de uno de los muros de ladrillos chonchón.

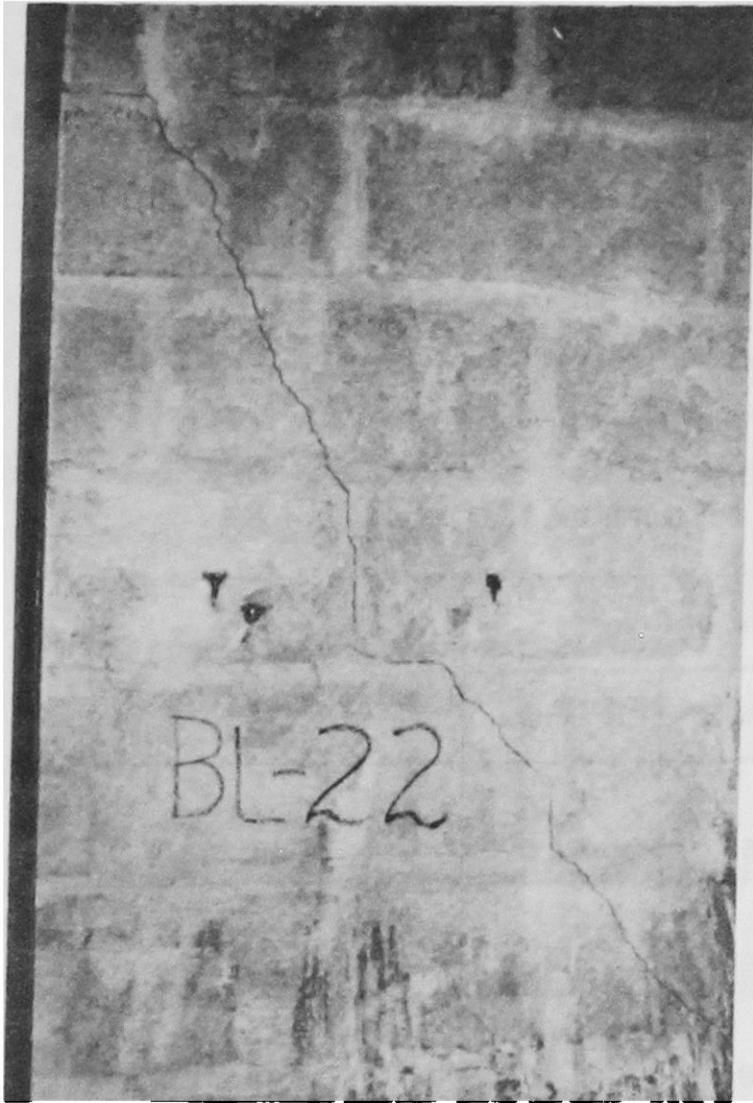


Fig. 18. Rotura diagonal de un muro de bloques huecos.

La grieta principal se reparó con costuras de acero, según el procedimiento ya descrito. Las grietas horizontales, que eran bien definidas y con bordes firmes, se repararon con cordones de resina epóxica.

Ambos muros de bloques se rompieron por tracción diagonal, como se muestra respecto a uno de ellos en la Fig. 18. Uno de ellos se reparó con llaves de hormigón en la grieta diagonal y con tarugos de hormigón en las grietas horizontales, como se ve en la Fig. 19, que muestra el muro preparado para la reparación a la izquierda, y el muro reparado a la derecha. El otro muro se reparó con platabandas en la grieta diagonal y con cordones de mortero epóxico en las grietas horizontales.

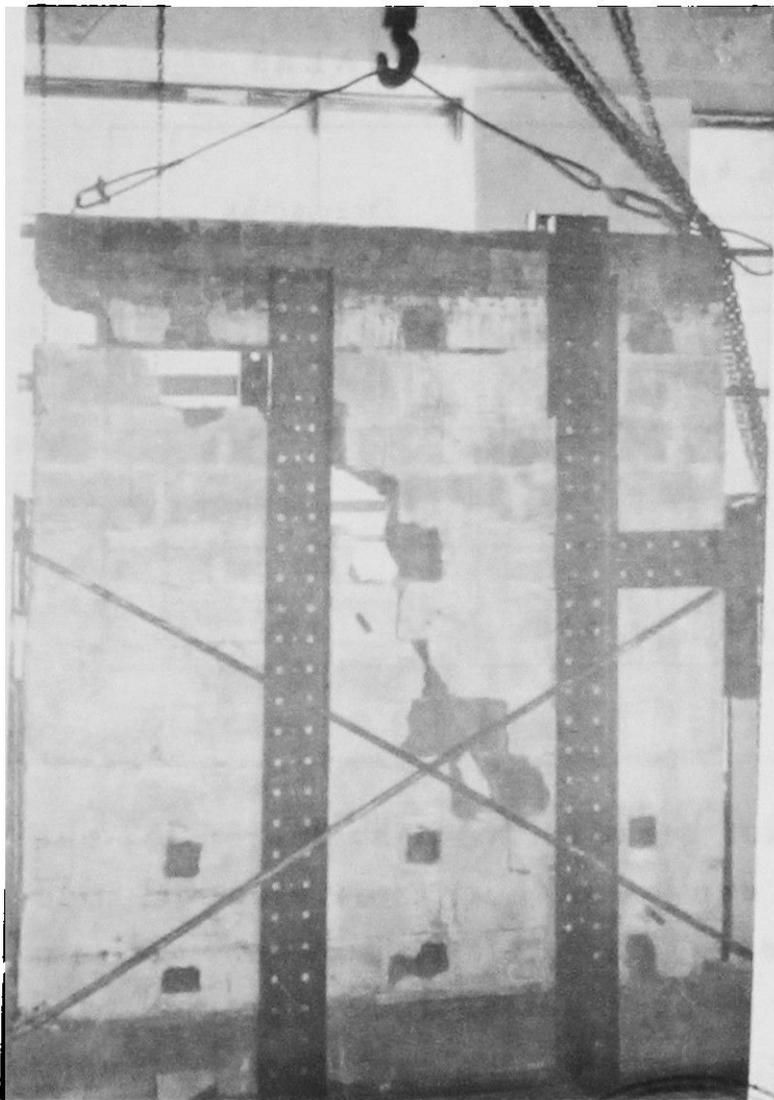


Fig. 19. Reparación con tarugos y llaves de hormigón de un muro de bloques huecos.

RESULTADOS

Probetas

En las Tablas I y II se presenta un resumen de los resultados principales obtenidos en los ensayos originales.

TABLA I
ENSAYOS DE TRACCION EN PROBETAS ORIGINALES

Material	Nº de probetas	Resistencias, kgf/cm ²			Desviación estándar, kgf/cm ²
		Mínima	Media	Máxima	
Ladrillos conchón	16	0.17	0.53	2.47	0.61
Ladrillos máquina	15	4.10	5.95	8.40	1.31
Bloques huecos	19	0.20	1.00	1.70	0.38

TABLA II
ENSAYOS DE CIZALLE EN PROBETAS ORIGINALES

Material	Nº de probetas	Resistencias, kgf/cm ²			Desviación estándar, kgf/cm ²
		Mínima	Media	Máxima	
Ladrillos conchón	19	1.22	2.60	4.15	0.82
Ladrillos máquina	20	2.70	5.90	9.40	1.42
Bloques huecos	19	1.50	2.80	4.90	0.98

Los resultados señalan que los ladrillos hechos a máquina fueron los que alcanzaron mayores resistencias. Ello se explica porque éstos eran del tipo rejilla, que tienen muchos huecos pequeños que los atraviesan en todo su espesor y en ellos se introduce el mortero de pega, aumentando la sección total de adherencia. Los ladrillos de conchón y los bloques huecos dieron resistencias muy parecidas entre sí.

Las roturas de las probetas de ladrillo chonchón a tracción se produjeron principalmente por falla de adherencia y en algunos casos, en el rango de las resistencias altas, se dieron fallas parciales del mortero o del ladrillo.

Igual cosa sucedió en cizalle.

En ladrillos hechos a máquina ensayados a tracción primaron las roturas por fallas de adherencia, pero hubo una mayor proporción de fallas de mortero que en el caso anterior y muy pocas fallas de los ladrillos.

En cizalle, sin embargo, las fallas fueron por combinación de adherencia y compresión del ladrillo en las probetas de más alta resistencia y en las más débiles principalmente por adherencia.

Los bloques huecos sometidos a tracción fallaron todos por adherencia y los ensayados a cizalle, también por adherencia, excepto en un caso, que correspondió a la probeta que más resistió, en que la falla fue de uno de los bloques.

En cada uno de los ensayos y para cada material se dividieron las probetas en grupos de menor a mayor resistencia, atendiendo a los resultados obtenidos, con el objeto de incluir, en lo posible, en cada solución de reparación, representantes de toda la gama de resistencias. En la Tabla III se señalan los respectivos grupos.

TABLA III
GRUPO DE PROBETAS DE CADA MATERIAL
SEGUN SUS RESISTENCIAS

Piezas	Ensayo	Débiles		Medias		Fuertes		Muy fuertes	
		Número	Rango kgf/cm ²	Número	Rango kgf/cm ²	Número	Rango kgf/cm ²	Número	Rango kgf/cm ²
Ladrillos chonchón	Tracción	6	0.17 a 0.35	7	0.42 a 0.88	3	1.21 a 2.47	-	-
	Cizalle	4	1.22 a 1.70	10	1.97 a 2.90	5	3.48 a 4.15	-	-
Ladrillos máquina	Tracción	3	4.1 a 4.2	5	5.1 a 5.8	4	6.3 a 7.1	3	7.2 a 8.4
	Cizalle	2	2.7 a 3.8	7	4.8 a 5.0	8	6.0 a 6.6	3	7.2 a 8.4
Bloques huecos	Tracción	2	0.2 a 0.4	9	0.6 a 1.0	8	1.1 a 1.7	-	-
	Cizalle	8	1.5 a 2.1	6	2.5 a 3.5	5	3.8 a 4.9	-	-

Reparaciones

En las Tablas IV y V se presentan los resultados de los ensayos hechos en probetas de ladrillo chonchón reparadas.

TABLA IV
ENSAYOS DE TRACCION EN PROBETAS DE
LADRILLO CHONCHON REPARADAS

Tipo de reparación	Grupo	N°	Resistencias, kgf/cm ²	
			Original	Reparada
Resina epóxica	Débil	1	0.2	0.7
	Media	2	0.6	0.8
Cordón de resina	Débil	1	0.2	0.3
	Media	2	0.7	1.1
Platabandas	Débil	1	0.3	1.1
	Media	1	0.5	1.0
	Fuerte	1	1.2	2.1
Mortero de cemento	Débil*	1	0.2	2.2
	Media	2	0.6	2.0
	Fuerte	2	2.1	3.6
Fibras de vidrio	Débil	1	0.3	2.9
	Media	1	0.5	2.6

* Se descartó un valor muy bajo en la reparación (0.4 - 1.0).

TABLA V
ENSAYOS DE CIZALLE EN PROBETAS DE
LADRILLO CHONCHON REPARADAS

Tipo de reparación	Grupo	N°	Resistencias, kgf/cm ²	
			Original	Reparada
Resina epóxica	Débil	1	1.7	1.7
	Media	2	2.4	3.0
Cordón de resina	Débil	1	1.7	2.4
	Media	2	2.4	2.4
Mortero de cemento	Débil	1	1.6	2.2
	Media*	1	2.6	4.1
	Fuerte**	2	3.5	4.6
Platabandas	Media***	2	2.4	2.2

* Se descartó un valor muy bajo en la reparación (2.5 - 2.5).

** Se descartó un resultado bajo (3.8 - 3.2).

*** Se descartó un resultado bajo (2.5 - 1.5).

En las reparaciones con resina epóxica del tipo de inyección, pero aplicada directamente a las superficies de falla, no falló ni la resina ni su unión con los ladrillos en ningún caso, sino que fueron o el ladrillo o el mortero que aún quedaba en la junta los que fallaron. En cizalle fallaron dos probetas por compresión del ladrillo central y la tercera por despegue de la junta que había quedado intacta en el ensayo original.

En las reparaciones con cordones de mortero epóxico tampoco fallaron éstos, sino las juntas que quedaron sanas en el ensayo original. Hay que hacer notar que el área resistente de los cordones era de 60cm^2 en tracción y de 160cm^2 en cizalle y a partir de esas cifras se concluye que estuvieron sometidos a 4.8 kgf/cm^2 y 10.9 kgf/cm^2 , respectivamente, en el momento de la rotura de las probetas más resistentes. Iguales tensiones actuaban en las zonas de los ladrillos adheridos a los cordones.

En el procedimiento de platabandas las fallas se produjeron en todos los casos por desgarramiento del ladrillo adherido a ellas. El área real resistente era de 75cm^2 en tracción y de 70cm^2 en cizalle, de modo que las tensiones máximas localizadas en la resina y los ladrillos contiguos fueron de 6.5 kgf/cm^2 y 11.4 kgf/cm^2 respectivamente.

Las reparaciones con mortero del tipo de inyección, pero aplicado directamente a las superficies de falla, dieron resultados más altos que los de las probetas originales y esto se debe a que el mortero de reparación era de mejor calidad que el original. En efecto, éste tenía una resistencia media a la compresión¹¹ de 111 kgf/cm^2 y aquél, de 346 kgf/cm^2 . Las fallas se produjeron en todos los casos fuera de las zonas reparadas.

Finalmente, en las reparaciones con fibras de vidrio fallaron los ladrillos pegados a ellas, con cargas muy superiores a las originales. La sección adherida era de 210cm^2 y de ahí resulta que la tensión máxima localizada en la resina y en los ladrillos contiguos fue de 3.1 kgf/cm^2 , inferior a los que se produjeron en las platabandas y en los cordones.

Como se desprende de lo expuesto anteriormente, todas las fallas de las probetas reparadas con resina, a saber, las de cordones, platabandas y fibras de vidrio, se produjeron por desgarramiento o desprendimiento de una zona del ladrillo adherido a la resina. La resina en sí misma no falló en ninguno de los casos, ni por cizalle, ni por tracción. Este comportamiento es consecuencia directa de que la resistencia a la tracción del mortero de resina epóxica es muy alta: superior¹⁷ a 400 kgf/cm^2 . Su adherencia con el ladrillo puede estimarse teóricamente y se encuentra que es bastante mayor que la resistencia de éste, tanto a la tracción como al cizalle; igual cosa sucede con los ladrillos hechos a máquina y con los bloques.

Se explica, entonces, que las fallas de las probetas separadas con resina se produzcan con cargas que son características de la calidad de los ladrillos y no de las resinas. La resistencia adicional de las resinas no puede aprovecharse en estas reparaciones.

En las Tablas VI y VII se presentan los ensayos hechos en probetas de ladrillos rejilla reparadas.

TABLA VI
ENSAYOS DE TRACCION EN PROBETAS DE LADRILLOS
HECHOS A MAQUINA REPARADA

Tipo de reparación	Grupo	Nº	Resistencias. kgf/cm ²	
			Original	Reparada
Cordón de resina	Débil	1	4.1	3.2
	Fuerte	1	6.3	4.2
	Muy fuerte	1	8.4	4.4
Platabandas	Débil	1	4.1	3.1
	Fuerte*	1	6.2	5.0
Fibras de vidrio	Muy débil	1	0.7	2.9
	Débil	1	4.1	2.2
	Media	1	5.4	2.2
Mortero de cemento	Muy débil	2	1.4	3.1
	Débil**	1	4.2	2.8
	Media	3	5.3	2.9
	Fuerte	2	6.8	2.8
	Muy fuerte	1	7.9	1.1

* Se descartó un valor bajo (6.3 - 3.6).

** Se descartó un valor muy bajo (3.7 - 1.0).

TABLA VII
ENSAYOS DE CIZALLE EN PROBETAS DE LADRILLOS
HECHOS A MAQUINA REPARADAS

Tipo de reparación	Grupo	n	Resistencias, kgf/cm ²	
			Original	Reparada
Cordon de resina	Débil	1	3.8	5.1
	Media	1	4.8	7.0
	Fuerte	1	6.5	5.2
	Muy fuerte	1	9.4	6.6
Platabanadas	Débil	1	6.3	1.6
	Media	1	4.8	2.7
	Fuerte	1	2.7	2.1
Fibras de vidrio	Media	1	6.1	5.2
	Fuerte	1	4.9	2.6
Mortero de cemento	Media	3	5.5	5.4
	Fuerte	3	6.2	6.1

Las formas de fallas fueron, fundamentalmente, semejantes a las de los ladrillos chonchón; pero las resistencias obtenidas fueron en casi todos los casos, tanto en tracción como en cizalle, más bajas que las de las probetas originales. Esto se debió a que éstas fueron muy altas^{1 1}: del orden de 5 kgf/cm² en tracción y de 6 kgf/cm² en cizalle.

Los cordones de mortero epóxico dieron lugar a reparaciones con resistencias cercanas a las originales y sin fallar la resina en sí ni en su unión a los ladrillos, alcanzaron tensiones de 19 kgf/cm² a tracción y de 31 kgf/cm² a cizalle. Las fallas se produjeron o en el mortero de cemento o en el ladrillo, Fig. 20.



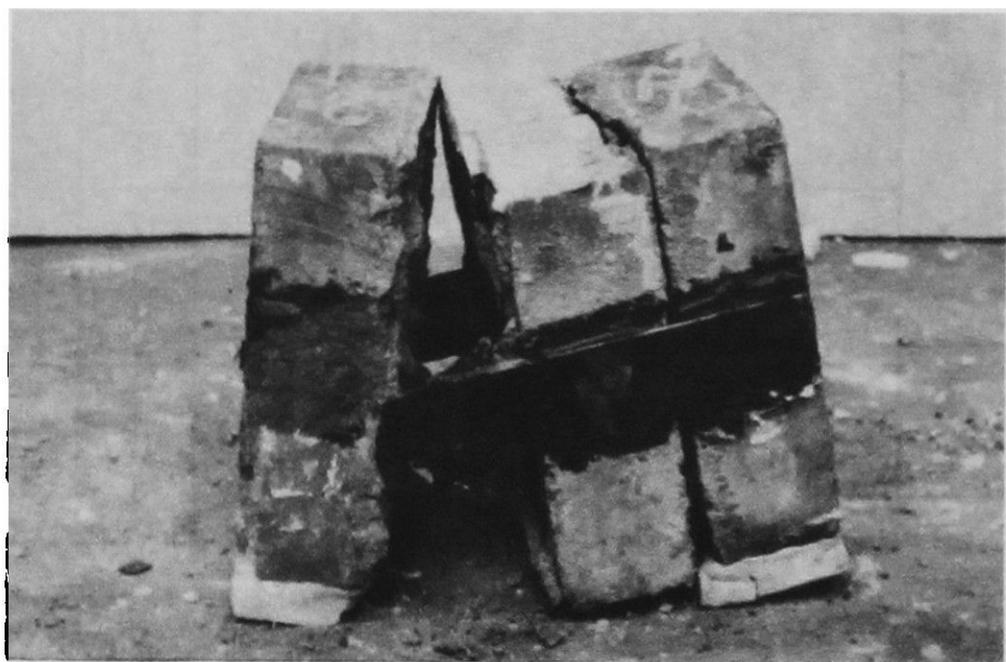
Fig. 20. Falla de probeta de cizalle reparada con cordón de resina. La falla se produjo por compresión del ladrillo central.

Las reparaciones con platabandas originaron fallas de los ladrillos adheridos a ellas, Fig. 21. Las tensiones máximas localizadas fueron de 28 kgf/cm² a tracción y de 11 kgf/cm² a cizalle.

El mortero tipo inyección, aun siendo de mejor calidad que el original, dio resistencias inferiores al primitivo. La explicación es que en la junta por reparar parte de los huecos de los ladrillos estaban llenos con el mortero original, y en consecuencia, se perdía el efecto adicional de adherencia que hubiese resultado de la introducción del mortero de reparación en esos huecos.

En las reparaciones con fibras de vidrio fallaron éstas.

Fig. 21. Falla de probeta de cizalle reparada con platabandas adheridas con resina epóxica. La falla se produjo por desprendimiento del ladrillo.



En las Tablas VIII y IX se presentan los resultados de los ensayos hechos probetas de bloques huecos reparados.

TABLA VIII
ENSAYOS DE TRACCION EN PROBETAS DE
BLOQUES HUECOS REPARADAS

Tipo de reparación	Grupo	n	Resistencias, kgf/cm ²	
			Original	Reparada
Cordón de resina	Débil	1	0.2	3.5
	Media	1	0.7	3.8
	Fuerte*	1	1.5	3.1
Platabandas	Media	2	0.8	5.4
	Fuerte	1	1.3	5.1
Tarugos	Débil	1	0.4	5.0
	Media	3	0.9	5.8
	Fuerte	3	1.3	5.4
Fibras de vidrio	Media	1	0.7	2.5
	Fuerte	1	1.2	2.8

* Se descartó un valor muy bajo (1.0 – 1.8).

TABLA IX
ENSAYOS DE CIZALLE EN PROBETAS DE
BLOQUES HUECOS REPARADAS

Tipo de reparación	Grupo	n	Resistencias, kgf/cm ²	
			Original	Reparada
Cordón de resina	Débil	1	2.1	2.4
	Media	1	3.2	7.1
	Fuerte	1	3.9	2.5
Platabandas	Débil	1	1.7	4.3
	Media	1	3.5	5.1
	Fuerte	1	4.1	6.0
Tarugos	Débil*	3	1.9	6.1
	Media**	1	2.9	8.0
	Fuerte	1	3.8	2.5

* Se descartaron 2 valores bajos (2.9 – 3.3 y 1.5 – 2.8).

** Se descartaron 2 resultados muy bajos (2.8 – 3.8 y 2.9 – 3.3).

Todas las probetas reparadas dieron resistencias superiores a las originales. Las fallas se produjeron en los bloques mismos o bien en el mortero original que no se había eliminado, con excepción de las reparaciones con fibras de vidrio, en que fallaron éstas y un caso de reparación con tarugo, en que falló la reparación, Fig. 22.

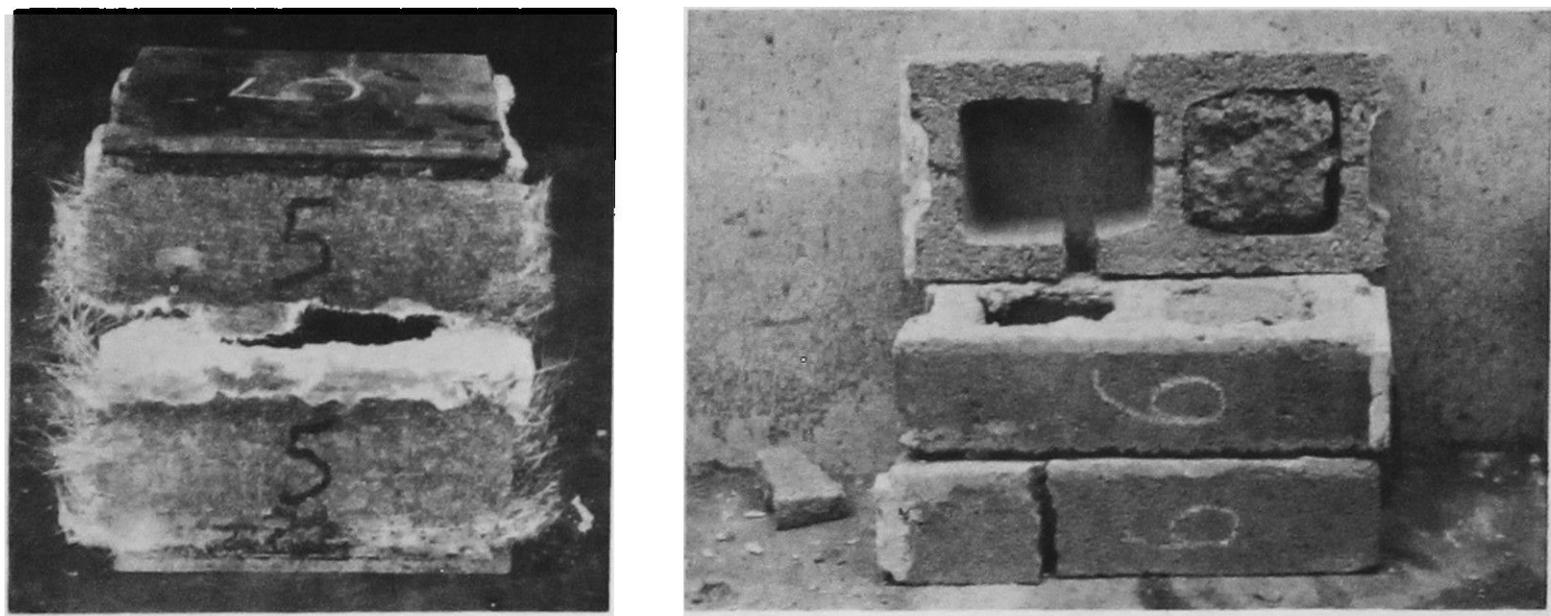


Fig. 22. Falla de la fibra de vidrio, a la izquierda y de un tarugo de hormigón, derecha.

Las platabandas estuvieron sometidas a 15 kgf/cm^2 a tracción y a 23 kgf/cm^2 a cizalle. Las fallas se produjeron por desprendimiento del hormigón del bloque en la vecindad de la platabanda, Fig. 23.

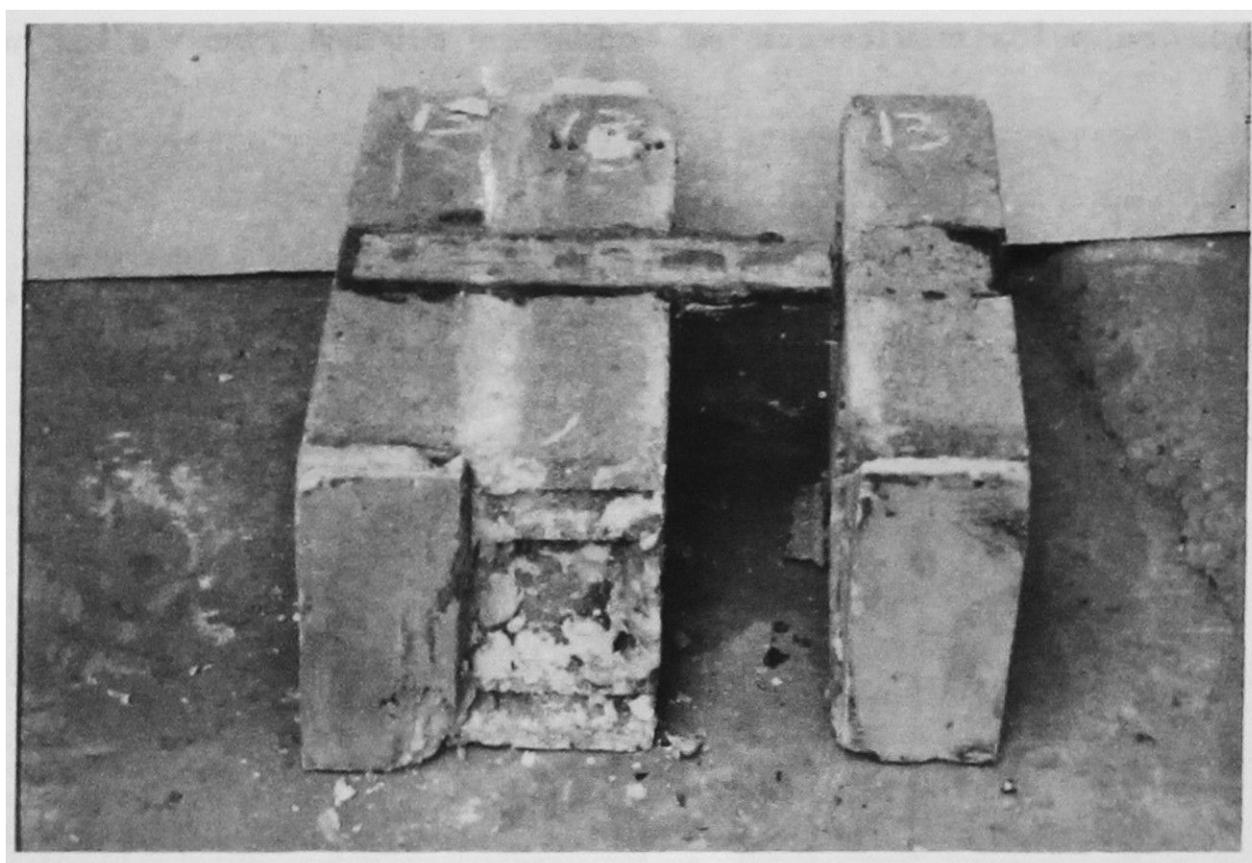


Fig. 23. Falla de probeta de cizalle de bloques huecos reparada con platabandas. La falla se produjo por desprendimiento del hormigón.

Los cordones de resina llegaron a tensiones de 10 kgf/cm^2 a tracción y de 32 kgf/cm^2 a cizalle. Las fallas fueron de los bloques o de la junta no reparada, Fig. 24.

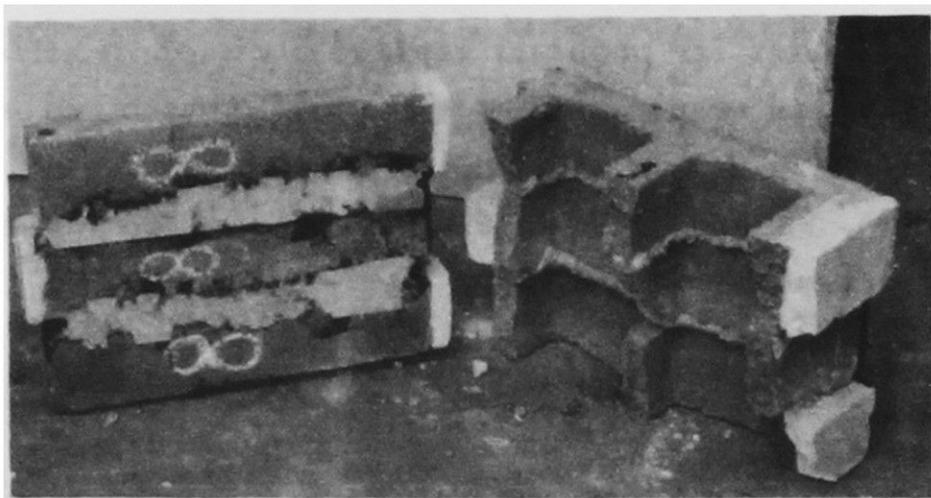


Fig. 24. Falla de probeta de cizalle y de tracción de bloques huecos reparada con cordones de resina.

Muritos

Los resultados de los ensayos de los muritos de 1 m x 1 m, que, como se señaló ya, fueron sometidos a tracción diagonal, se presentan en la Tabla X, tanto los que corresponden a los muritos en su condición original como a los mismos reparados.

TABLA X
RESULTADOS DE ENSAYÓS A TRACCION DIAGONAL DE LOS MURITOS

Muro, N°	Original			Reparado			
	Carga, P kgf	$\sigma = P/A^*$ kgf/cm ²	Tipo falla	Clase Reparación	Carga, P kgf	$\sigma = P/A^*$ kgf/cm ²	Tipo falla
1	4 910	3.27	Diagonal	—	—	—	—
Chonchón 2	4 300	2.87	Horizontal	Llaves con conectores	3 700	2.47	Diagonal
3	4 950	3.28	Diagonal	Costuras de fierro	5 940	3.9	Diagonal
Ladrillos a máquina 1	12 450	7.32	Horizontal	Llaves de hormigón	15 700	9.24	Diagonal
2	15 400	9.06	Diagonal	Platabandas	17 620	10.36	Diagonal
3	13 100	7.71	Diagonal	Costuras de fierro	17 380	10.22	Diagonal
Bloques 1	7 000	3.61	Horizontal	Tarugos de hormigón	11 300	5.83	Diagonal
2	6 500	3.41	Horizontal	Llaves de hormigón	11 620	6.10	Diagonal
3	4 500	2.36	Horizontal	Platabandas	2 600	1.36	Horizontal

* A = área transversal de los muritos.

En la Fig. 9 se observa la falla del murito de chonchón N° 3, que fue diagonal, mientras que las del muro de chonchón N° 2 fue horizontal. La Fig. 25 muestra la forma de falla de estos muritos reparados. En el murito 2

la reparación consistió en dos llaves de hormigón con conectores de fierro que ligaron la hilada inferior a la viga basal; y el murito 3 se reparó con fierros embebidos a través de la grieta original. En ambos la rotura se produjo por tracción diagonal, fuera de la zona reparada; la carga que resistió al N° 2 fue menor y la resistida por el N° 3, mayor que la original.

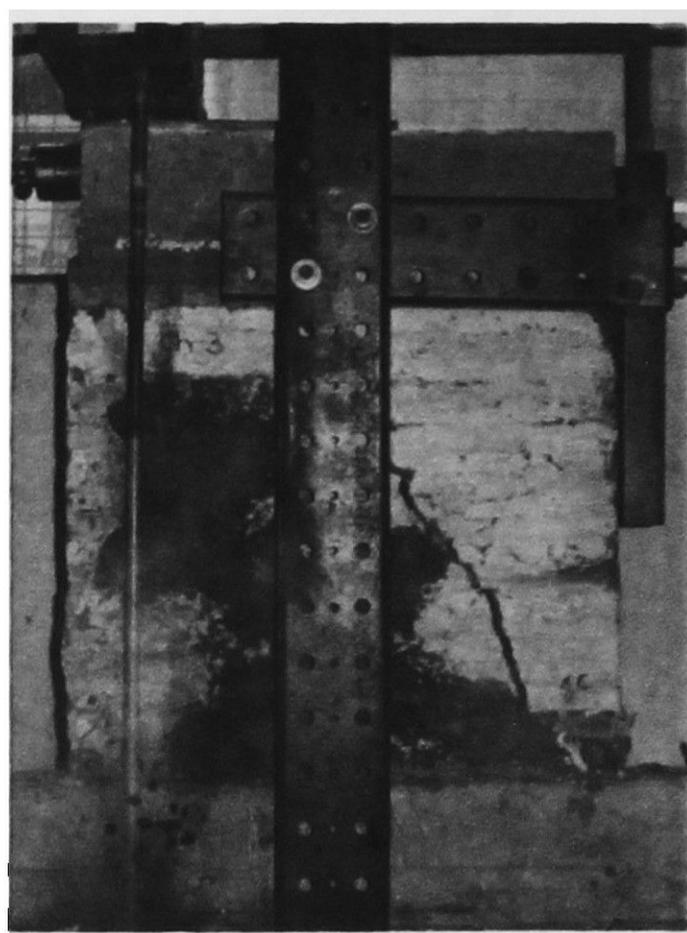
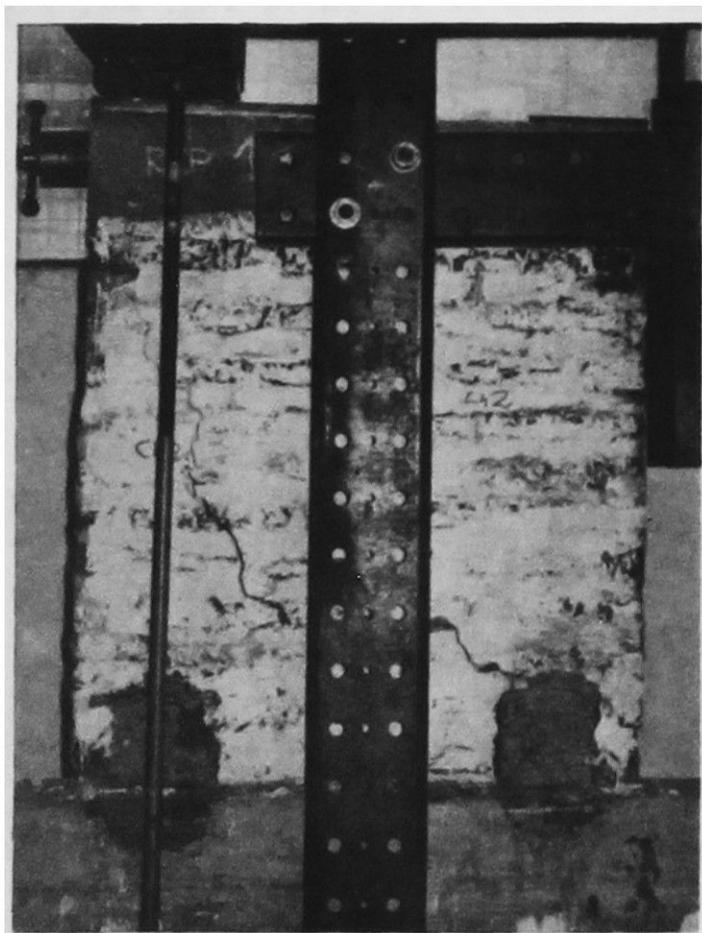


Fig. 25. Falla de los muritos de ladrillos chunchón reparados.

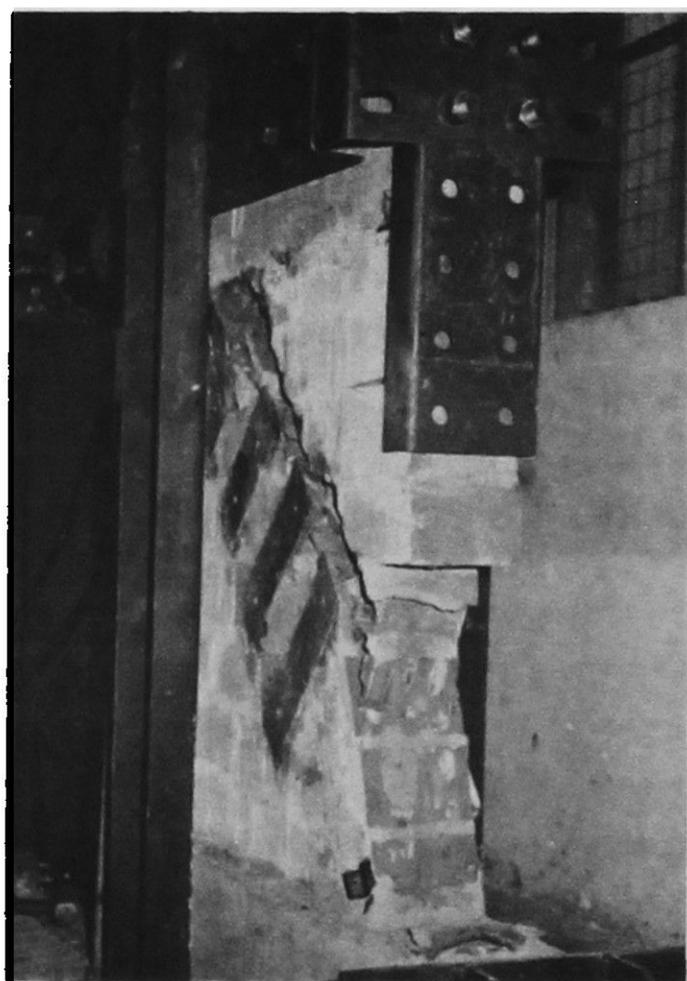
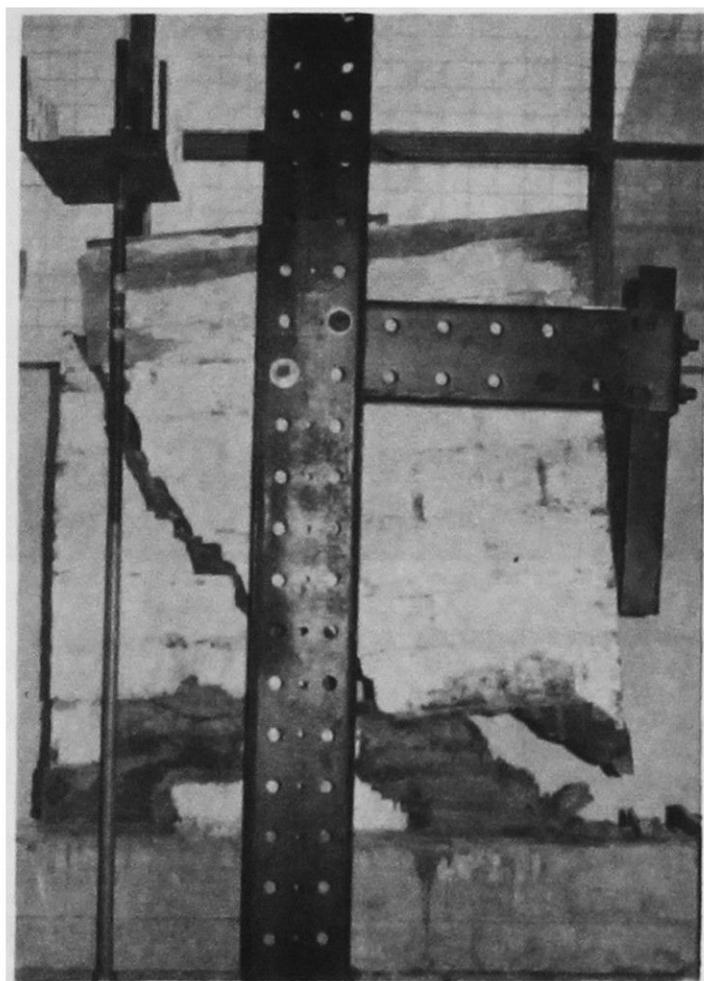


Fig. 26. Falla de los muritos de ladrillos rejilla reparados.

En las Fig. 14 y 16 se ven las fallas de los muritos de ladrillos hechos a máquina N° 2 y 3, ambas de tipo diagonal; la del murito N° 1 fue de despegue horizontal de la primera hilada, como se ve en la Fig. 15. Se reparó el N° 1 con llaves de hormigón, el N° 2 con platabandas y el N° 3 con fierros embebidos a través de la grieta. Todos ellos, en su condición reparada, se rompieron por tracción diagonal, fuera de la zona reparada, como se ve en la Fig. 26, y con cargas mayores que las originales.

Los tres muritos de bloques fallaron por despegue de las uniones horizontales, uno de ellos se muestra en la Fig. 10. Uno se reparó con tarugos de hormigón, otro con llaves de hormigón y el tercero con platabandas. Todos se rompieron por tracción diagonal, fuera de la zona de reparación, como se ve en la Fig. 27. Las cargas de roturas fueron mayores en los dos primeros y menor en el tercero que las originales.

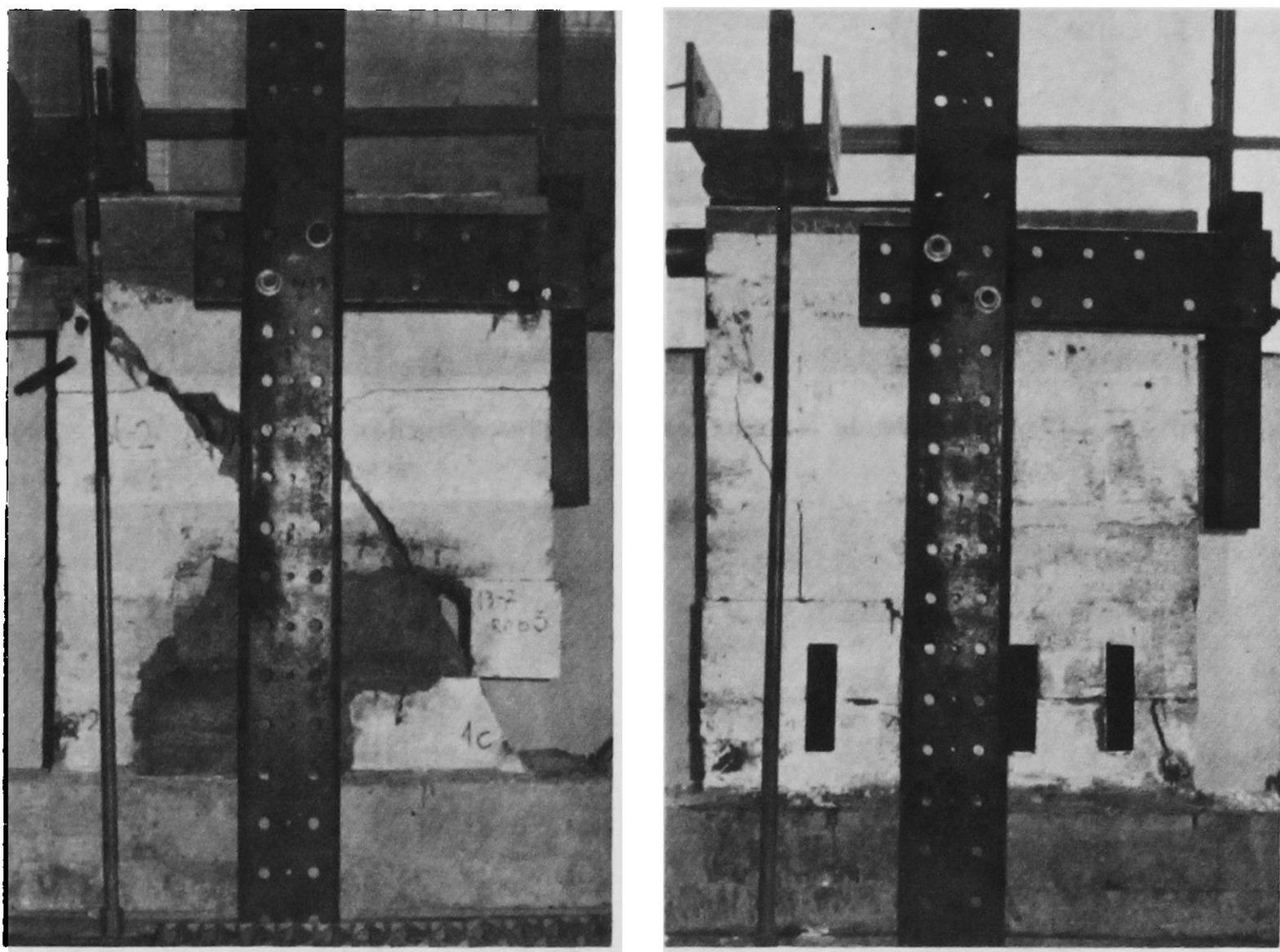


Fig. 27. Falla de los muritos de bloques huecos reparados.

Muros

Los resultados de los ensayos de tracción diagonal de los muros de 2.40 m x 2.40 m se presentan en la Tabla XI en la condición original y en la Tabla XII después de reparados.

TABLA XI
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS MUROS ORIGINALES

Muro	Carga, kgf		σ_c P _V /A	τ P _H /A	σ_{cr}^*	Tipo falla
	Horizontal, P _H	Vertical, P _V				
Chonchón 21	13 100	18 500	5.0	3.6	3.7	Diagonal
Chonchón 22	12 300	14 200	4.0	3.4	3.5	Diagonal
Bloques 21	19 800	27 100	6.0	4.5	4.0	Diagonal
Bloques 22	24 100	32 200	7.0	5.5	5.0	Diagonal

$$* \sigma_{cr} = \sqrt{(1.5 \tau)^2 + (\sigma_c/2)^2} - \sigma_c/2.$$

TABLA XII
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS MUROS REPARADOS

Muro	Reparación	Carga, kgf		σ_c P _V /A	τ P _H /A	σ_{cr}	Tipo falla
		Horizontal, P _H	Vertical, P _V				
Chonchón 22	Costuras de fierro	19 000	15 200	4.0	5.5	6.0	Diagonal
Bloques 21	Llaves y tarugos de hormigón	18 300	21 900	5.0	4.0	4.1	Diagonal
Bloques 22	Platabandas	23 200	31 800	7.0	5.0	5.0	Diagonal

La forma de rotura de algunos de los muros se ve en las Figs. 17 y 18. En todos los casos la rotura final fue por tracción diagonal, pero anteriormente se había producido en cada uno de ellos una grieta horizontal en las primeras hiladas. La reparación que se anota en la Tabla XII es la que se aplicó a la grieta diagonal. Para las horizontales se aplicó cordón de resina en el muro de chonchón y uno de los muros de bloques, en el otro se aplicó una reparación de tarugos de hormigón.

Durante los ensayos se midieron las deformaciones de ambas diagonales de los muros. Los resultados aparecen en las Figs. 28, 29 y 30, en las cuales también se incluyen las curvas de las cargas verticales en relación con las cargas horizontales. Se observa que las curvas de deformación de las Figs. 28 y 29 están formadas prácticamente por dos rectas, con un punto de quiebre que coincide con la aparición de la primera grieta horizontal; a partir de esa carga, las deformaciones, especialmente las de tracción, crecen más rápidamente, porque incluyen la abertura de la grieta. En la Fig. 30 no existe el quiebre descrito anteriormente, debido a que la grieta horizontal se produjo entre la primera hilada y la viga basal, quedando, en consecuencia, fuera de la zona de medida.

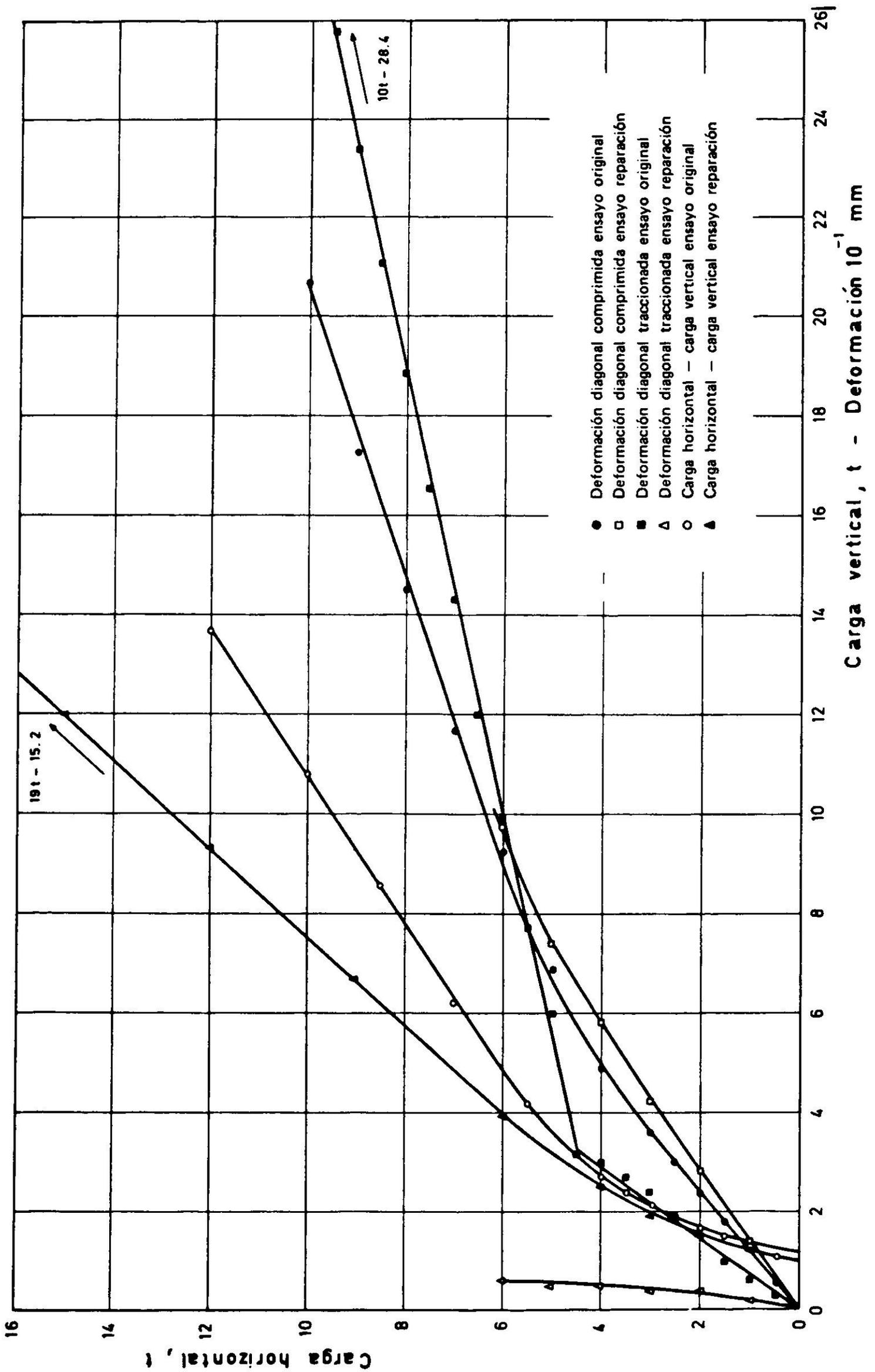


Fig. 28. Relaciones entre las deformaciones de las diagonales y las cargas horizontales. Muro de chonchón 22.

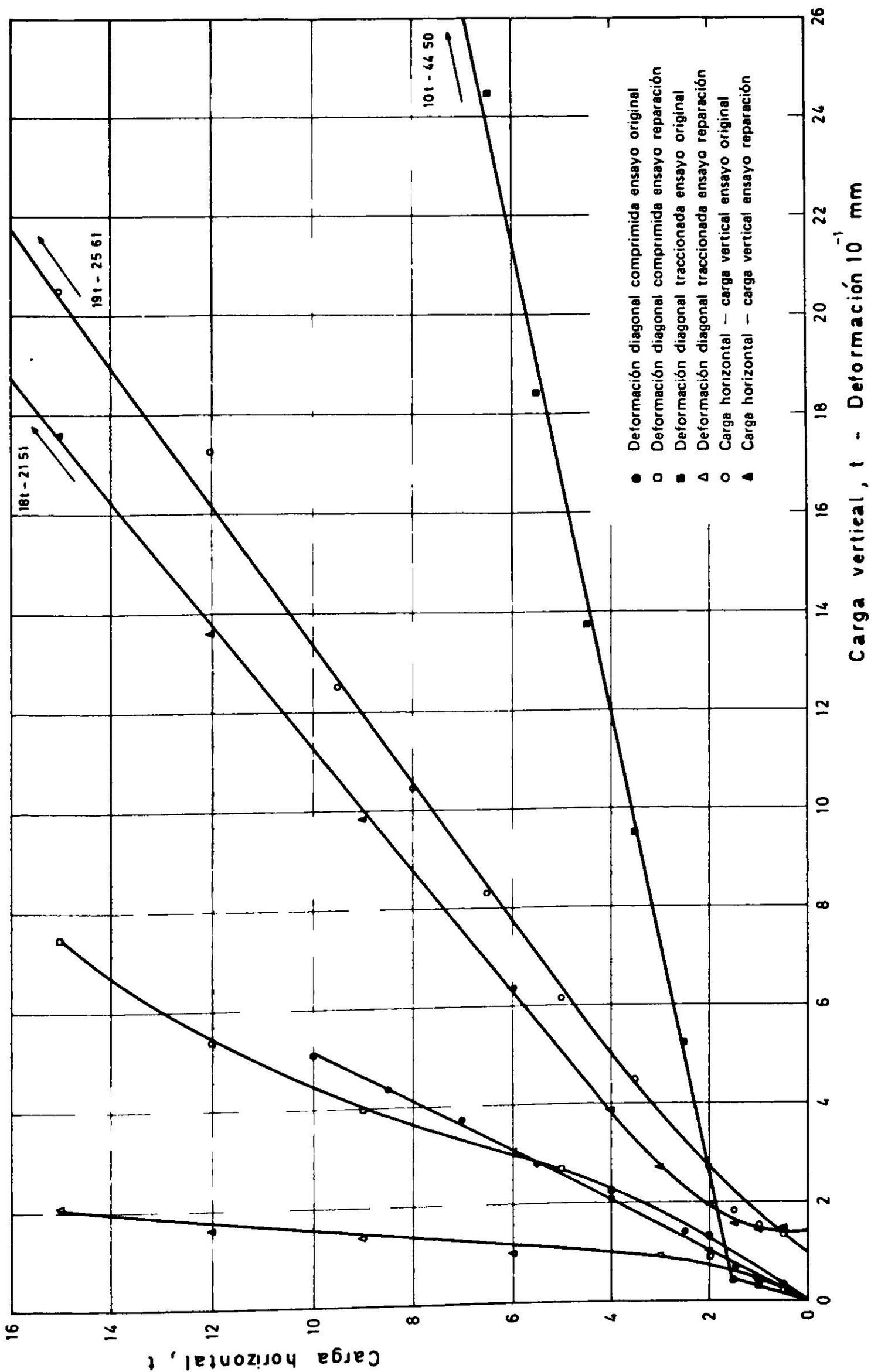


Fig. 29. Relaciones entre las deformaciones de las diagonales y las cargas horizontales. Muro de bloques 21.

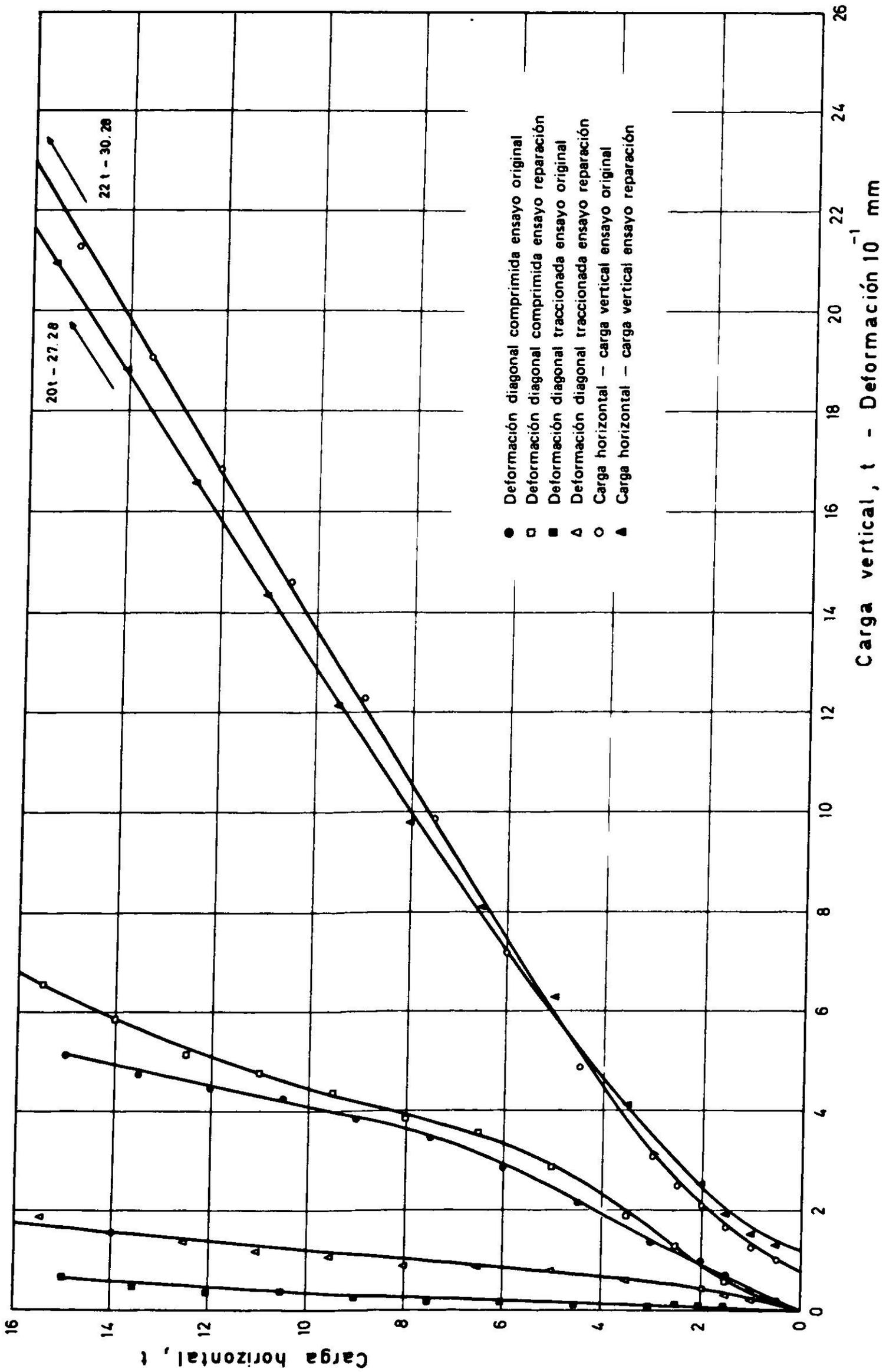


Fig. 30. Relaciones entre las deformaciones de las diagonales y las cargas horizontales. Muro de bloque 22.

Los muros reparados se rompieron por tracción diagonal, fuera de la zona reparada, Figs. 31 y 32. En todos ellos apareció con anterioridad una grieta entre la viga basal y la primera hilada, lo que prueba que las reparaciones de las grietas horizontales primitivas surtieron efecto y además explica que las curvas de deformación de los muros reparados no tengan quiebre.

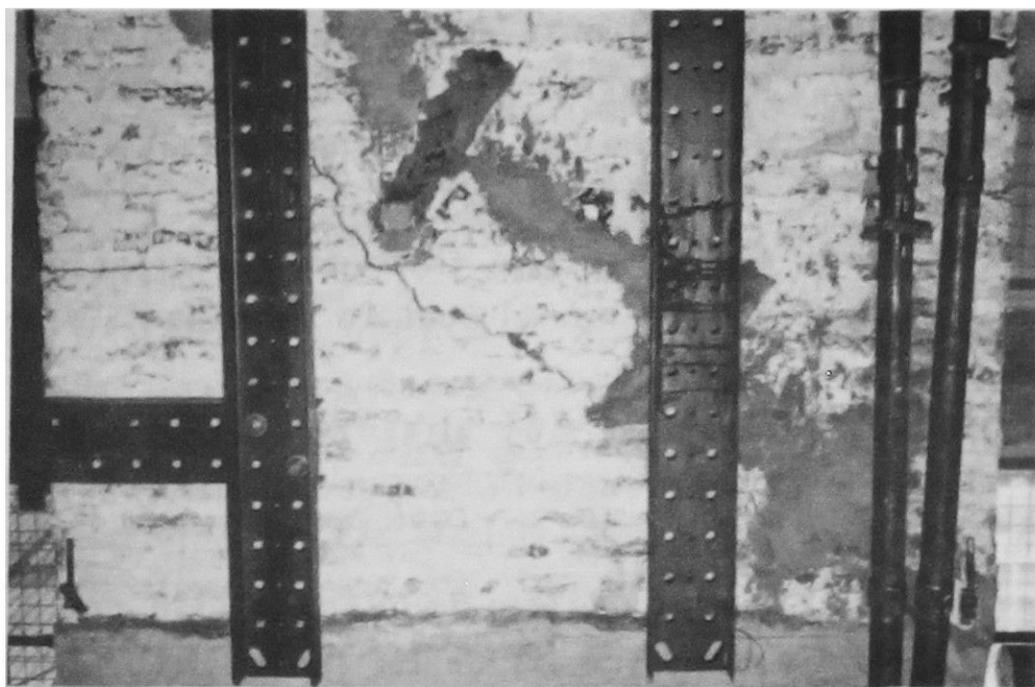


Fig. 31. Falla de muro de ladrillo chonchón reparado.

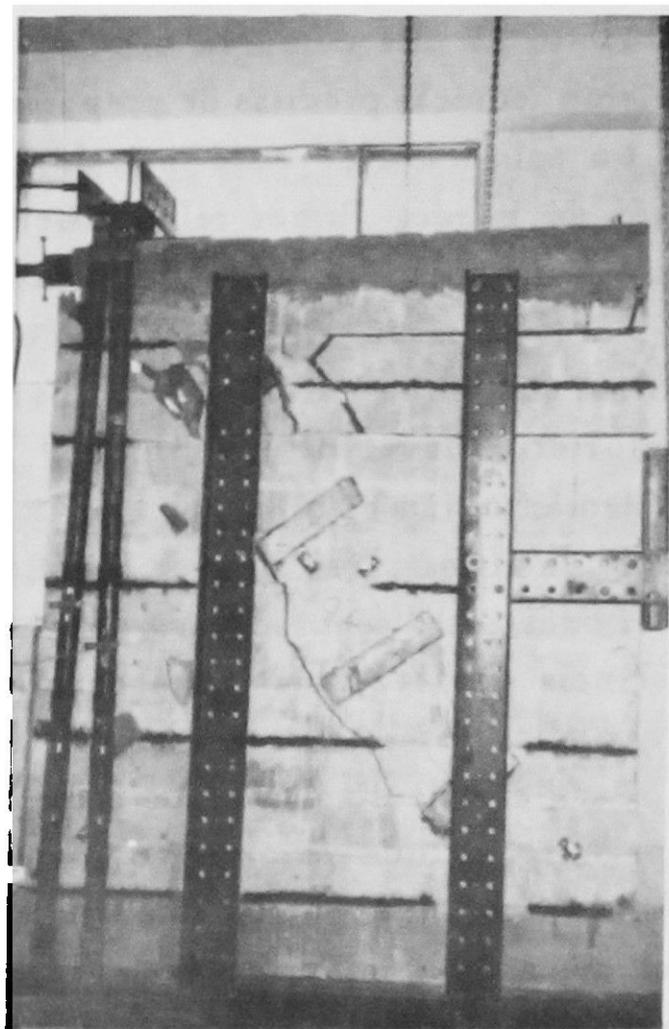
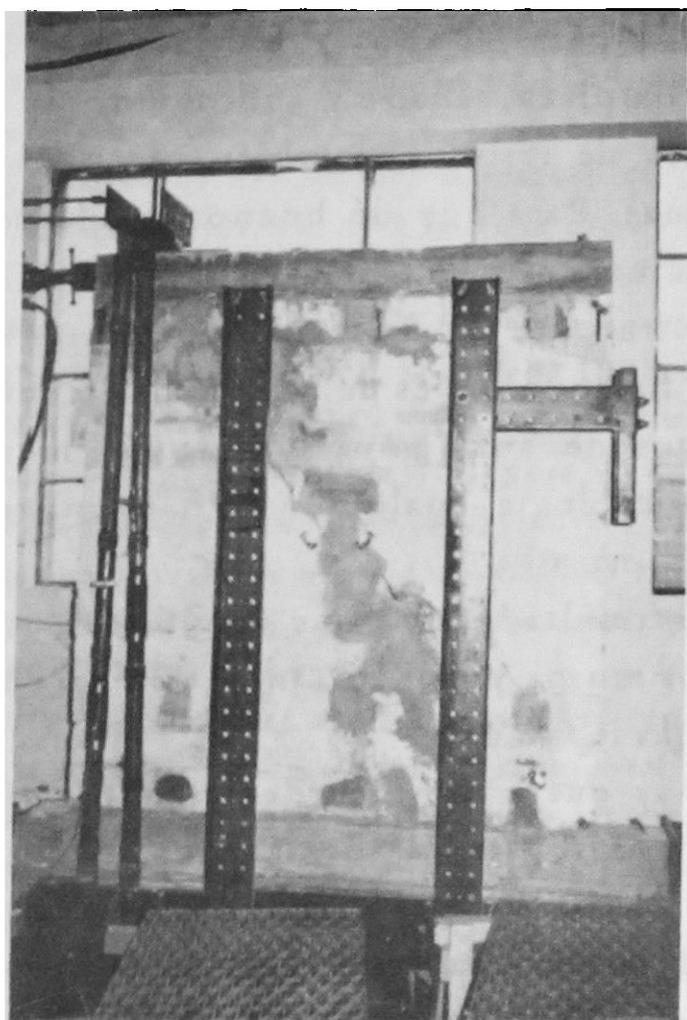


Fig. 32. Falla de los muros de bloques huecos reparados.

El muro de ladrillos chonchón resistió más en la condición reparada que en el estado original. Los muros de bloques reparados resistieron algo menos que los originales, pero hay que dejar constancia que, después de los respectivos ensayos

en estado original quedaron muy dañados y no es seguro que al repararlos se haya eliminado toda la zona afectada.

CONCLUSIONES

Entre las reparaciones consideradas hubo dos que se aplicaron sólo a probetas, fueron las de resina epóxica y las de mortero de cemento. Creemos, sin embargo, que es razonable aceptar que aplicadas a muros darían resultados semejantes a los que se obtuvieron en las probetas.

Ambas soluciones son aptas para reparar grietas finas de bordes netos y deben aplicarse por el procedimiento de inyección, el cual no se utilizó en este trabajo, por razones prácticas.

La inyección de resina produce adherencias muy altas. Es excelente desde este punto de vista, aunque el exceso de resistencia no se puede aprovechar. Es una solución buena para circunstancias especiales.

La inyección de mortero, realizada con un mortero de buena calidad, produce adherencias mayores, pero del mismo orden, que las de las juntas originales y cumple bien con el objetivo básico de una reparación, que es restituir la resistencia original con un pequeño exceso.

Tanto la una como la otra sirven sólo para ladrillos y bloques macizos y requieren técnicas precisas de preparación, limpieza, sellado y aplicación.

La aplicación de cordones de mortero de resina es también adecuada para grietas de bordes firmes relativamente finas. Para que dé buenos resultados se requiere un espesor de pared de 2 cm como mínimo.

Para grietas muy abiertas y con destrucción de material adyacente, valen las otras soluciones, a saber: platabandas, fierros a través de las grietas embebidos en mortero, llaves de hormigón y tarugos de hormigón. Las dos primeras y posiblemente también la tercera, son aplicables a cualquier tipo de muro, en cambio, la última, sólo a los de bloques huecos.

Todas estas reparaciones dan buenos resultados, ya que resultan de mayor resistencia que las zonas adyacentes de los muros y por lo tanto, si se producen nuevas fallas, éstas ocurren fuera de las zonas reparadas.

Para el cálculo de las reparaciones hay que basarse en dos criterios básicos. El primero es que el objetivo es restituir la resistencia de la zona fallada con algún exceso, que puede tomarse como el 50%; y el segundo, que la parte débil de la reparación, es decir, la que determina su resistencia es el ladrillo o bloque, sea por desgarramiento sea por adherencia. Los valores que habría que tomar en cada caso debieran determinarse por ensayo de probetas, porque dependen fuertemente de la calidad y de la textura superficial de los bloques o ladrillos.

REFERENCIAS

1. MONGE, J.; ROSENBERG, L.A.; VIVES, A. y YOMA, F. *Sismo del 28 de marzo de 1965, Chile. Informe sobre daños en estructuras*. Laboratorio de Estructuras Departamento de Obras Cíviles, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, noviembre 1965.
2. NOTICIAS. Efecto del terremoto de marzo de 1965. *Revista del IDIEM*, vol. 4, n° 1 (mayo 1965), pp. 77-81.
3. KORT, I. El terremoto de Tocopilla del 20 de diciembre de 1967. *Revista del IDIEM*, vol. 9, n° 3 (diciembre 1970), pp. 117-156.
4. LAMANA, A.; DELFIN, F., y BULLEMORE, M. Estudio experimental de la adherencia entre morteros y bloques de hormigón. *Revista del IDIEM*, vol. 9, n° 1 (mayo 1970), pp. 28-48.
5. LAMANA, A.; DELFIN, F., y BULLEMORE, M. Adherencia entre mortero y bloques de hormigón: influencia de diferentes variables. *Revista del IDIEM*, vol. 9, n° 2 (septiembre 1970), pp. 79-102.
6. CARUZ, V. *Diseño de una vivienda antisísmica de albañilería de bloques reforzada*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, 1969.
7. JORQUERA, L. y HAMEL, E. Posibilidades de las albañilerías armadas en Chile. *Informe N° 1 Centro de la Vivienda y Construcción*. Universidad de Chile, Santiago, abril 1961, 19 pp.
8. BERG, G.V. *The Skopje, Yugoslavia earthquake, July 26, 1963*. American Iron and Steel Institute, Nueva York 1964, 77 pp.
9. ENVIRONMENTAL SCIENCE SERVICES ADMINISTRATION. *The Prince William Sound, Alaska, earthquake of 1964 and aftershocks*. Vol. II, Parte A. U.S. Department of Commerce, 1967.
10. GOMEZ, E. Efectos del terremoto de julio de 1971 en el valle Choapa-Illapel. *Revista del IDIEM*, vol. 11, n° 2 (septiembre 1972), pp. 131-135.
11. OLIVARES, J. *Estudio experimental de reparación de muros de albañilería*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, 1977.
12. MAYES, L.R. y CLOUGH, W.R. A literature survey — compressive, tensile, bond and shear strength of masonry. *Report N° EERC 75-15*, junio 1975.
13. FERNANDEZ, C.M. Reparaciones y refuerzos en estructuras de hormigón mediante resinas epóxicas. *Revista del IDIEM*. vol. 13, n° 1 (mayo 1974), pp. 1-22.
14. JOHNSON, M.S. *Deterioration, maintenance and repair of structures*. Mc Graw - Hill, Nueva York, 1965.
15. INN, *Nch 167.Of.54*. Ensayos de ladrillos arcillosos.
16. LARRAIN, C. *Estudio experimental de la adherencia entre mortero y ladrillos*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago, 1971.
17. SAECHTLING, H. *Kunststoff Taschenbuch*, Carl Hansen Verlag, Munich, Viena, 20° edición, 1976.

RECONOCIMIENTO

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación titulado *Comportamiento de estructuras sometidas a sollicitaciones cíclicas* el cual recibió una asignación

de fondos de parte de la Oficina Técnica de Desarrollo Científico y Creación Artística de la Universidad de Chile, que permitió financiar parcialmente los gastos de preparación y de realización de las experiencias.

Los autores, junto con reconocer el aporte de esa oficina, agradecen la colaboración prestada.

EXPERIMENTAL STUDY OF REPAIR PROCEDURES FOR DAMAGED MASONRY WALLS

SUMMARY:

This investigation was conducted to analyze repair solutions for damages in masonry walls chiefly due to earthquake action.

Tests of small specimens in tension and in shear as well as of small walls and larger ones to racking loads were made. After rupture the samples were repaired and retested.

Testing methods and repair procedures are described, results of tests are presented and some conclusions are advanced on adequate solutions for particular types of damages.