

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA ADHERENCIA ENTRE MORTERO Y BLOQUES DE HORMIGON

Atilano LAMANA*
Federico DELFIN*
Marcelo BULLEMORE*

RESUMEN

Como una parte inicial de una investigación sobre adherencia entre bloques de hormigón y mortero, se hizo un estudio del comportamiento de construcciones de albañilería frente al sismo del 28 de marzo de 1965 y además se realizó una encuesta entre albañiles para conocer los métodos, materiales y equipos que se emplean actualmente en la práctica chilena.

En el presente trabajo se dan los resultados del estudio y de la encuesta y se comentan los resultados obtenidos.

INTRODUCCION

La importancia de las albañilerías se refleja en el hecho de que la mayor parte de las construcciones de nuestro país, particularmente las edificadas en los últimos años, tienen como estructura resistente muros de albañilería.

El sismo del 28 de Marzo de 1965, que puede ser llamado el "sismo de las albañilerías", por las desastrosas consecuencias que trajo a este tipo de construcciones, mostró la necesidad de conocer mejor los factores que influyen en la resistencia de ellas, especialmente las de bloques de hormigón, que fueron las que más fallas experimentaron; siendo éste el punto de partida de la presente investigación.

El examen de los daños indicó que la adherencia entre el mortero y los bloques de hormigón había sido insuficiente, por lo que el estudio se enfocó hacia este aspecto. La falla de adherencia es característica general de todas las

*Ingeniero Investigador en IDIEM.

albañilerías que fallan por esfuerzos sísmicos, siendo muy poco corriente que fallen por esfuerzos de compresión.

En la adherencia influyen factores que dependen de los materiales: mortero y bloques, y factores externos como son la mano de obra encargada de construir las albañilerías y los tratamientos o cuidados que se les den en sus primeras edades. De aquí surgió entonces la idea de averiguar en el terreno mismo y por medio de los albañiles, cuáles son los materiales y métodos constructivos que se emplean habitualmente, como también los resultados que notan al utilizarlos.

Conjuntamente con los antecedentes de la realidad chilena, en cuanto a materiales y métodos constructivos, se recopilaron antecedentes extranjeros, que agregaron mayor información al esclarecimiento del problema; pero debe considerarse que aunque las conclusiones que de ellos se extrajeron son de mucho interés, no son terminantes y se encuentran oscurecidas por la dispersión de los ensayos, quedando todavía factores cuya influencia no ha sido debidamente aclarada ni cuantificada. Por otra parte, esos resultados no podrían ser enteramente aplicables a nuestro país, ya que esas investigaciones han sido desarrolladas de acuerdo a las necesidades de esos países, que corresponden a una realidad económica diferente, existiendo diferencias de mano de obra, materiales y procedimientos constructivos. A esto se suma el hecho de que en los países de donde proviene la mayor parte de la información no se presentan problemas sísmicos como en el nuestro.

En general a las albañilerías no se les ha dado la importancia que realmente tienen, y se construyen siguiendo métodos tradicionales. Las investigaciones realizadas en este campo son escasas.

Para las albañilerías existen recomendaciones que han logrado imponerse más por repetición que por fundamentos experimentales. Así por ejemplo, se dice que la retentividad de agua del mortero es el factor de mayor importancia en su adherencia, lo que experimentalmente no está demostrado en forma concluyente. También se dice que los morteros para albañilerías de bloques deben ser pobres de dosificación semejante a los bloques mismos, de modo que el conjunto sea homogéneo, evitando así los problemas de retracción diferencial, pero esta hipótesis no toma en cuenta el hecho de que los planos de unión del mortero con los bloques son zonas débiles, por lo que la albañilería fallará por adherencia.

SISMO DE LA ZONA CENTRAL-NORTE DE CHILE

El día 28 de Marzo de 1965, un sismo de magnitud $7 \frac{1}{4}$ y profundidad de foco 61 ± 15 km, afectó a las provincias de Santiago, Valparaíso y Aconcagua principalmente. El epicentro estaría situado en la zona vecina a La Ligua (140 km al norte de Santiago). La intensidad fue de VIII a IX en una extensa área, que incluye las ciudades de Viña del Mar, La Calera, San Felipe, Los Andes, La Ligua, etc. En Santiago la intensidad fue VII.

Mayormente afectadas resultaron las viviendas, estimándose que alrededor de 21.000 fueron destruidas, debiendo ser reparadas más de 71.000.

En las zonas rurales predomina la construcción con adobe; en cambio, e

las urbanas, en el caso de construcciones recientes, predominan las viviendas de uno y dos pisos, con muros de albañilería provistos de pilares y cadenas, y, en el caso de construcciones más antiguas, con tabiquerías de madera rellenas con adobillo.

El comportamiento de las construcciones de adobes fue malo, por lo que se estima que deben ser descartados definitivamente; las tabiquerías de madera resistieron satisfactoriamente, aunque por su forma de construcción no correspondían al ideal de una tabiquería antisísmica.

El comportamiento de las construcciones de albañilería, especialmente las de bloques de hormigón, fue deficiente, a pesar de que estaban reforzadas por pilares y cadenas. Tal vez el predominio de períodos cortos en el movimiento sísmico haya afectado más adversamente a este tipo de construcciones. Las fallas más frecuentemente observadas fueron: falta de adherencia entre el mortero y las unidades de albañilerías, fallas de adherencia entre albañilería y elementos de hormigón armado, destrucción de uniones entre cadenas y pilares; separación de muros concurrentes por falla en sus amarras, etc.

Las grietas en las albañilerías fueron provocadas por fuerzas en su plano o fuera de su plano, y la falla principal fue de adherencia entre el mortero y las unidades de albañilería, ya que las grietas se produjeron en los planos de unión entre ellos. Este hecho pudo apreciarse en forma más clara aun en las albañilerías de bloques de hormigón.

Si se compara el comportamiento de las albañilerías de bloques de hormigón en los sismos de Chile (marzo 1965) y el de Anchorage (Alaska, marzo 1964), se encuentra una notable diferencia, ya que en el último sismo nombrado, según el informe del US Department of Commerce¹, el comportamiento de las albañilerías fue estimado excelente.

Debe hacerse notar que en Anchorage primaban las albañilerías armadas, con refuerzos en forma de mallas en las juntas horizontales y barras de acero a través de los huecos verticales.

Por la versatilidad de los bloques huecos, ellos son especialmente aptos para la construcción de albañilerías armadas, cuya introducción en nuestro país es una solución que no debe ser postergada.

Aun en ese tipo de albañilería la adherencia entre el mortero de pega y los elementos de albañilería continuará siendo un factor determinante, puesto que los esfuerzos se transmiten a las armaduras a través del mortero de unión.

ENSAYOS DE MUESTRAS TOMADAS DE CONSTRUCCIONES DAÑADAS POR EL SISMO

La Corporación de la Vivienda solicitó al IDIEM que asesorara y colaborara con la comisión investigadora designada por CORVI, con el objeto de determinar los factores que influyeron en los daños sufridos por diversas poblaciones construidas por esa institución por efectos del sismo de marzo de 1965.

La labor desarrollada por el IDIEM se refirió principalmente a la calidad de

los materiales empleados en las albañilerías, especialmente los morteros. El estudio experimental se realizó en la sección Investigación sobre Hormigones de ese Instituto, correspondiendo a los autores del presente trabajo la preparación y ensayo de las probetas.

Como los elementos más dañados en las poblaciones fueron los muros y tabiques de albañilería y las grietas se produjeron corrientemente en la junta entre el mortero y los elementos de albañilería, lo que indica que la falla fue de adherencia entre ellos, los ensayos que se realizaron tendieron a determinar la adherencia real existente, así como las propiedades mecánicas y composición de los morteros. En las Figs. 1 a 4 se muestran fallas típicas de muros y tabiques de bloques huecos.

Muestreo

Con el objeto de no destruir aquellos muros que habían soportado bien el sismo, las muestras se tomaron de elementos que estaban parcialmente agrietados o destruidos, procurando que no estuviesen alteradas. Las muestras consistieron en trozos de mortero, unidades de albañilería y algunas placas formadas por la unión de varias unidades de albañilería.

Los trozos de mortero se seleccionaron de modo que fuera posible realizar con ellos ensayos mecánicos y químicos.

Se procuró que las unidades de albañilería tuvieran adheridos juntas de mortero, de modo de determinar la adherencia existente. Las placas estaban destinadas a este mismo ensayo.

Tanto la extracción como el transporte de las muestras exigió un especial cuidado, eliminándose aquellas que sufrieron alguna alteración en estas operaciones.

Se extrajeron muestras de 9 poblaciones. Fueron ellas Juanita Aguirre, Eneas Gonel y Ernesto Illanes, de Santiago; Manuel Rodriguez, de Til-Til; Dr. Salas, de Salamanca; Dr. Eduardo Torres, de Illapel; Los Paltos, de Cabildo; Pedro Aguirre Cerda, de San Felipe, y Almirante Gómez Carreño, de Viña del Mar.

Ensayos realizados

Para determinar las propiedades que se mencionaron anteriormente se hicieron ensayos de cizalle, que miden la adherencia del mortero con las unidades de albañilería; tracción por flexión y compresión, que establecen la resistencia mecánica del mortero, y análisis químicos, que es la base para determinar el contenido de cemento del mortero.

Estos ensayos se hicieron conforme a los métodos que se describen a continuación.

Ensayo de adherencia

No fue posible realizar este ensayo según la norma Inditecnor 30.54 ch, ya que de las placas extraídas era muy difícil adecuar probetas a las exigidas por esta norma, corriéndose el riesgo de alterarlas al hacer los cortes de sierra necesarios. La norma Inditecnor 30.54 ch establece el ensayo de una probeta formada por tres ladrillos pegados con mortero 1:3 por sus caras mayores, traslapando el central en 2/3 con respecto a los laterales. La carga se aplica en la cara menor del central, sirviendo de apoyos los laterales.

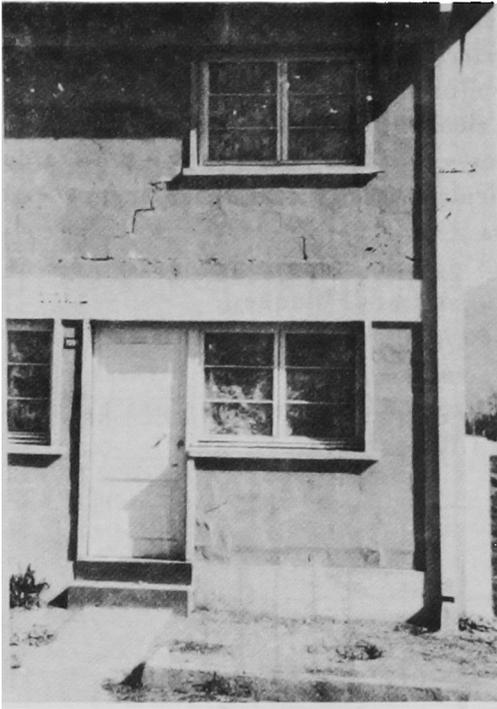


Fig. 1. Grietas producidas por el terremoto en un muro de fachada. Población Pedro Aguirre Cerda, San Felipe.

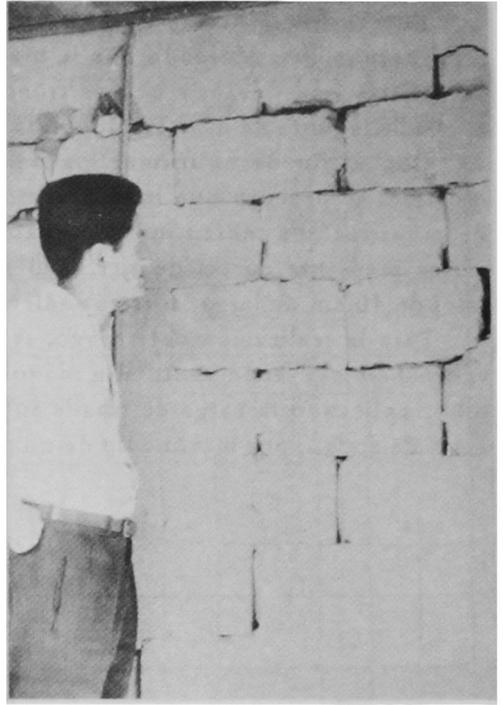


Fig. 2. Grietas producidas en un muro interior divisorio. Población Pedro Aguirre Cerda.

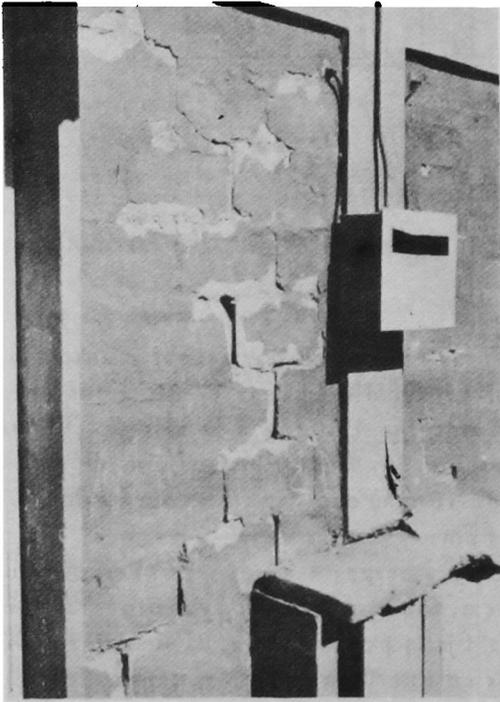


Fig. 3. Detalle de grietas en un muro de bloques huecos. Población Pedro Aguirre Cerda.

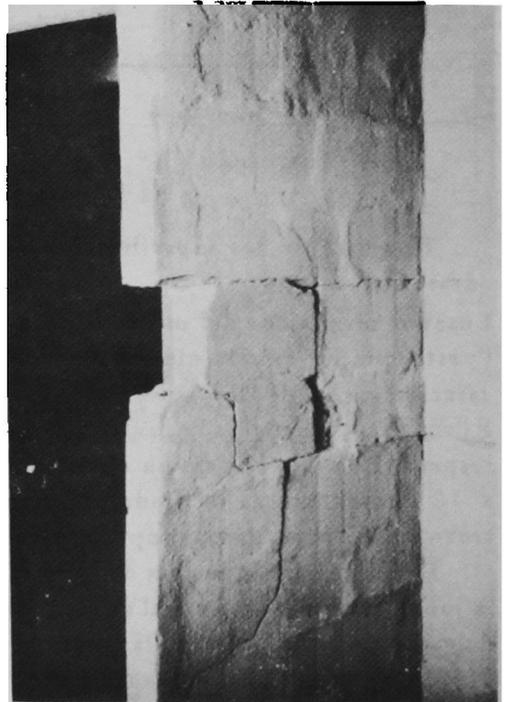


Fig. 4. Detalle de grietas entre bloques de un tabique interior. Población Pedro Aguirre Cerda.

Fue entonces necesario idear un procedimiento general de ensaye para todas las muestras, considerando que la mayor parte de ellas consistía en elementos de albañilería que llevaban unidos trozos de mortero. Esto se consiguió ensayando al cizalle la junta de mortero adherida a un elemento de albañilería.

Con el fin de uniformar los resultados y evitar la falla por compresión del mortero, se procuró que las juntas no tuvieran más de 25 cm de largo. En el caso de muestras que tenían juntas horizontales y verticales, fue necesario independizarlas mediante cortes de sierra; lo mismo ocurrió con algunas juntas horizontales de 40 cm de largo, correspondientes a muestras de bloques.

Para la realización del ensayo, se colocó la probeta con su junta en posición vertical, sujeta firmemente a la máquina de ensayo por medio de prensas de tornillo, aplicando la carga de cizalle sobre el espesor del mortero en una banda de 1 cm de ancho, por intermedio de un perfil T de acero, Fig. 5.

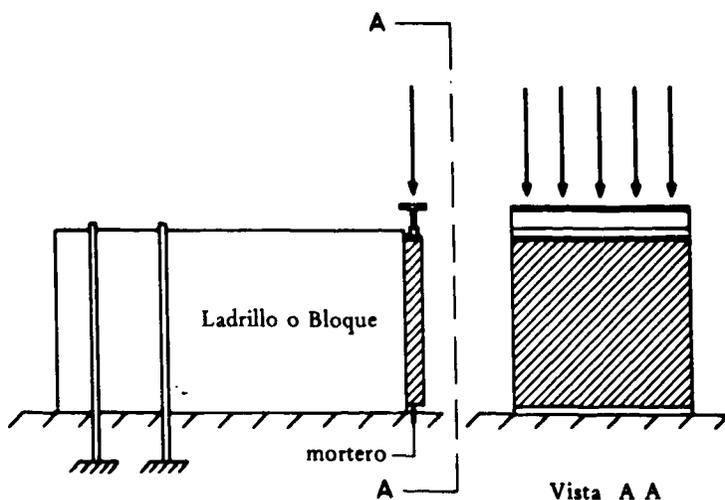


Fig. 5. Esquema del ensayo de cizalle.

El ajuste de las superficies de apoyo de las probetas se logró mediante un enrase con yeso.

Ensayos mecánicos del mortero

Puesto que no existía ningún método de ensaye que se ajustara exactamente a las características de las muestras obtenidas, se decidió aplicar el procedimiento Rilem, de ensayos para cementos, que ha sido incorporado a la norma chilena respectiva. Este consiste en el ensayo a tracción por flexión de prismas de 4 x 4 x 16 cm, con carga centrada, en una luz de 10 cm, ensayando a compresión los trozos resultantes en una superficie de 4 x 4 cm.

Dado que las muestras de mortero tenían su espesor fijado por el espesor de la junta, que por lo general es menor de 4 cm, fue necesario ensayar probetas más delgadas, pero respetando la altura y la luz fijada por la norma. El ensayo a compresión se realizaba solamente en los casos en que los trozos resultantes eran de dimensiones semejantes a las fijadas por Rilem.

Las probetas se cortaron con una sierra circular de diamante, con lo cual se obtuvo un buen paralelismo de las caras de ellas. En los casos en que existían

TABLA I
RESISTENCIAS MEDIAS DE LOS ENSAYOS DE ADHERENCIA Y
TRACCION POR FLEXION

Población	Muestras Nº	Adherencia						Tracción por flexión	
		Bloques				Ladrillos silicos		Mortero de unión	
		Cara con huecos		Cara lisa					
		n*	kg/cm ²	n*	kg/cm ²	n*	kg/cm ²	n*	kg/cm ²
Al. Gómez Carreño. (Viña)	1,2,3	21	5,8	8	3,5	-	-	39	48,9
P. Aguirre Cerda. Etapa 2. (San Felipe)	4,6,7, 10,11, 12,13,14	8	8,6	17	4,2	-	-	22	41,4
P. Aguirre Cerda. Etapa 1	8,15	5	3,3	5	0,8	-	-	12	11,5
Los Paltos. (Cabildo)	16	-	-	-	-	11	7,2	7	69,3
Dr. Edo. Torres. (Illapel)	17	2	8,6	7	5,3	-	-	22	53,6
Dr. Salas. (Salamanca)	18	1	5,3	5	2,0	-	-	4	12,9
Juanita Aguirre. (Santiago)	21	-	-	-	-	-	-	3	11,7
Eneas Gonel. (Stgo) Sector 3	22,23	-	-	-	-	18	1,2	16	42,8

*n = número de ensayos

TABLA II
CONTENIDO DE CEMENTO DE MORTEROS DE ALBAÑILERIA
Población Pedro Aguirre Cerda

Muestra	SiO ₂ %	Cemento % en peso	Cemento/arena en peso
A	3,992	23	1/3,1
B	2,556	13	1/6,3
4	5,514	33	1/1,8
8	1,830	8	1/11,1
10	4,434	26	1/2,6
14	2,760	14	1/5,5
15	1,972	9	1/9,7

imperfecciones de las superficies de carga, éstas se subsanaron por medio de enrase con yeso de esas superficies.

Análisis químico

El objetivo perseguido con este ensayo fue determinar la composición de los morteros extraídos. El análisis se hace por la sílice soluble y es necesario conocer los contenidos de sílice del cemento y arena usados. En esta forma se puede determinar la relación cemento-arena en peso. El error que se comete en la dosis de cemento es inferior al 10%. Este ensaye exige que el mortero no contenga cal.

Con el objeto de obtener una muestra representativa, se deben mezclar y moler en conjunto una cantidad no menor de 2 kg de mortero proveniente de distintas partes del muro correspondiente.

Resultados

En los ensayos de adherencia de bloques se hizo distinción de las dos clases de juntas: verticales y horizontales. Asimismo, en este último caso los resultados se separan según que el mortero penetre o no en los huecos de los bloques.

La penetración del mortero iba de 1 a 10 cm, produciéndose generalmente la rotura en el plano de contacto y cizallándose el mortero penetrado, salvo en casos de excepción. En los casos de adherencia en caras lisas, la falla se produjo en el plano de contacto o por compresión del mortero ocasionalmente. Estas muestras correspondían a tabiques de 8.5 a 9.5 cm de espesor con excepción de la N° 18.

Los resultados resumidos se presentan en la Tabla I. Los resultados de los ensayos químicos se presentan en la Tabla II. Ellos corresponden a la población Pedro Aguirre Cerda. Las muestras A y B fueron tomadas y ensayadas antes de haber sido presentada la solicitud de la CORVI al IDIEM, pero por pertenecer a la misma población se incluyen en las Tablas.

Interpretación

La primera consideración que debe hacerse es que una junta tiene dos superficies de unión, superior e inferior, de las cuales falló a consecuencia del sismo necesariamente la más débil, por lo que las ensayadas corresponden a las más fuertes. Por otra parte, puede verse que en los casos en que el mortero penetraba en los huecos, la adherencia fue superior que la que se obtuvo en caras lisas; por este motivo es más representativo este último caso, ya que fue la adherencia del mortero con las caras lisas la que más falló en el sismo.

Los resultados de adherencia exhiben variaciones fuertes en probetas correspondientes a la misma muestra. Si se consideran los valores medios de las muestras pertenecientes a una misma población, (las especificaciones técnicas deben haber sido las mismas), tanto en adherencia, resistencia mecánica y contenido de cemento, se aprecian también variaciones muy fuertes, lo que indicaría que se trata de un fenómeno sobre el cual influyen muchas variables. (Control de la obra, calidad de los materiales y mano de obra, curado, etc.).

De la Tabla I se puede pensar que hay una relación entre resistencia mecánica del mortero y adherencia, pero tal relación no sería válida en las poblaciones construidas con ladrillos sílico-calcáreos, (poblaciones Eneas Gonel y Los Paltos, aun cuando la última nombrada no pertenece a la CORVI se incluye para que

sirva de referencia), en que las resistencias mecánicas están en una relación menor de 1:2 y las adherencias en relación 1:6, lo que reafirmaría lo dicho anteriormente en el sentido de que la adherencia es un fenómeno en el que intervienen muchas variables.

Si se comparan los contenidos de cemento y la adherencia de los morteros correspondientes a la Población Pedro Aguirre Cerda, se observa que hay una relación directa entre ellos.

Las muestras de la etapa II de la Población Pedro Aguirre Cerda dieron una adherencia media de 4.2 kg/cm^2 , que siendo menor que la obtenida en la población Dr. Eduardo Torres, es superior a las otras poblaciones muestreadas. La muestra 8 correspondiente a la población primeramente mencionada, era de una calidad muy inferior a la de las otras muestras pertenecientes a la misma población.

Desafortunadamente no se tienen antecedentes de ensayos similares anteriores para comparar con los resultados obtenidos en esta oportunidad. La información que se posee corresponde a los valores medios de adherencia de las distintas unidades de albañilería, obtenidos de los ensayos de control realizados por el IDIEM, de acuerdo a la norma Inditecnor 30.54 ch. Debe notarse que esta norma se refiere a la calidad adherente de las unidades mismas, ensayadas por medio de un mortero 1:3 cemento Super Melón, fluidez 90% ASTM aproximadamente, curado al aire de laboratorio y ensayado a 7 días. La adherencia media determinada en esta forma es 6.4 kg/cm^2 para sílico-calcáreos.

El ensayo de adherencia no se realiza normalmente en bloques de hormigón, pero resultados de algunos ensayos aislados llevados a cabo en el IDIEM, dan una adherencia media de 5.6 kg/cm^2 en las mismas condiciones anteriormente mencionadas.

Experiencias realizadas por los autores con bloques que llevaban una junta de mortero adherida, resultantes de los ensayos de adherencia a tracción por flexión, correspondientes a la experimentación realizada, dieron una adherencia media de 3.54 kg/cm^2 , Tabla III. Este valor se obtuvo con mortero 1:4.36 en peso, cemento Polpaico especial, 140% fluidez, curado al aire de laboratorio; la

TABLA III
ADHERENCIA DE JUNTAS RESISTENTES
DEL ENSAYE A FLEXOTRACCION

Serie	Adherencia	
	n*	kg/cm ²
A - 1	4	3.7
G - 1	7	2.8
G - 3	2	2.9
I - 2	1	4.8

*n = número de ensayos.

serie A-1 se hizo colocando el bloque superior sobre la junta dos minutos después de colocada ésta, las series G-1 y G-3 con 1 y 4 minutos respectivamente y la serie I-2 con dos minutos, siendo regada su junta durante una semana.

El método de ensaye seguido difirió del anterior, Fig. 6, ya que la carga de cizalle se aplicó perpendicularmente a la dimensión mayor de la junta, que era de 39 cm. No fue posible aplicar la carga paralelamente a la dimensión mayor, pues la faja de mortero tenía un ancho de sólo 3 a 4 cm y 1 cm de espesor.

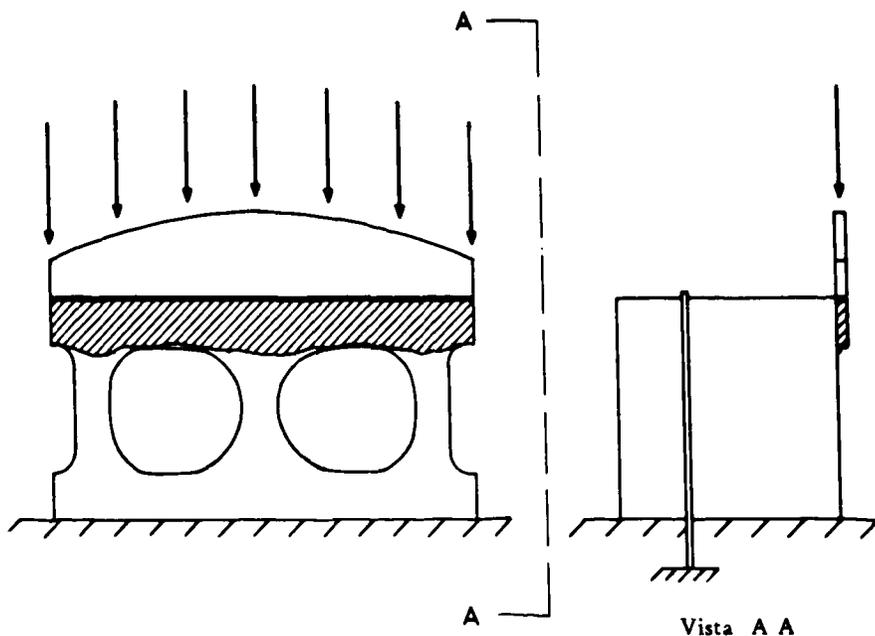


Fig. 6. Esquema ensayo de cizalle a probetas resultantes del ensayo de flexotracción.

ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS ALBAÑILERÍAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN

Para poder interpretar el comportamiento de las construcciones de albañilería y plantear luego una investigación experimental, era necesario conocer en primer término cuál es la realidad en cuanto a los procedimientos y métodos que actualmente se emplean en la ejecución de estas construcciones.

Del estudio de los antecedentes de que se dispone se desprende que en el campo de las albañilerías, que es una de las formas más antiguas y difundidas de construir, es muy poco lo que se ha avanzado y prácticamente los procedimientos actuales no difieren notablemente de los que se empleaban primitivamente.

Esta despreocupación por los problemas de las albañilerías ha sido general en la mayoría de los países. En Inglaterra por ejemplo, comenta Mc Intosh², que si se compara la producción anual de arena para albañilerías, de 12.000.000 m³, con los 20.000.000 m³, de arena para hormigones, resulta incomprensible que hasta 1966 no existiera una norma para ensayar los morteros de albañilería, y que

a pesar de los 170.000.000 m² de muros que anualmente se levantan con ladrillos o bloques, no se haya emprendido un estudio sistemático de las características de los morteros y de las técnicas empleadas que afectan a la calidad y resistencia de los muros.

Por otra parte, añade el mismo autor que si se examinan los coeficientes de seguridad, que reflejan en gran medida el conocimiento y grado de control que se posee sobre los materiales que se emplean, se puede ver que, mientras para estructuras de hormigón se ha llegado a reducir este coeficiente hasta a 2,7, para albañilería se está empleando un factor de seguridad de 10 o superior.

En el informe elaborado por la Comisión Rilem-Cib³, que abordó el estudio de la situación actual de los conocimientos y prácticas en morteros para albañilería y estucos, se puede apreciar cómo en la mayoría de los países que pertenecen a esta organización se ha empezado a plantear la necesidad de establecer normas que estén respaldadas por investigaciones y de intercambiar experiencias.

En Chile en los últimos 10 años se han impulsado planes de construcción masiva de viviendas económicas, en las cuales la parte de albañilería juega el papel más importante. Sin embargo, no se han tomado las medidas para normalizar todo lo referente a morteros y obras de albañilería, existiendo solamente algunas especificaciones técnicas que no poseen un respaldo seguro.

Dada la escasa información que existe en el país acerca de los procedimientos constructivos chilenos, se estimó necesario realizar una encuesta entre los albañiles, quienes son los que están más vinculados con la ejecución misma de las obras, para conocer las prácticas reales de construcción de las albañilerías. Por otra parte, en esta forma, en la realización de la encuesta, se podrían observar los métodos empleados y la organización general de estas faenas.

Planteamiento, resultados e interpretación de la encuesta

Para ordenar y puntualizar los diferentes aspectos de la encuesta, se hizo un análisis de los factores que más podrían influir en las propiedades de las albañilerías y se decidió que había que obtener información sobre los siguientes puntos: Clasificación del albañil según su experiencia; proporciones de los materiales en el mortero usado; cementos empleados; cales empleadas; arenas empleadas; fluidez del mortero; espesor de las juntas; estado de humedad de las unidades de albañilería al momento de su colocación; controles existentes en obra y curado de las albañilerías confeccionadas, y colocación de las unidades y otros.

Por limitaciones de tiempo y de distancias, la encuesta se realizó en Santiago, principalmente en poblaciones en construcción de la CORVI. Los albañiles no fueron seleccionados y en cada obra se entrevistó al mayor número posible de ellos. El total de albañiles encuestados fue de 36.

En la realización de la encuesta era muy difícil ceñirse estrictamente al texto previamente preparado, dado que los albañiles tendían a continuar abarcando otros aspectos y justificaciones, que en algunos casos eran de mucho interés, por lo que aparecen incluidos en la interpretación que se expone en los párrafos que sigue.

Clasificación del albañil

El objetivo era conocer el grado de especialización de los albañiles a través de

sus años de experiencia, valorando de acuerdo a ello sus respuestas. Además interesaba saber la práctica que tenían con los distintos elementos de albañilería, ya fueran ladrillos corrientes o prensados, bloques de hormigón, etc., y si algunos de ellos les presentaban mayores dificultades para su trabajo, que afectaran su rendimiento.

El conjunto de albañiles encuestado resultó bastante homogéneo y experimentado, ya que el 86% de ellos tenía más de 5 años de práctica lo que da un buen grado de confiabilidad a sus respuestas. También se puede deducir que en las construcciones visitadas se empleaban obreros especializados en las albañilerías, con una adecuada experiencia en la labor que desarrollan.

El elemento que más se ocupa en las albañilerías es el ladrillo de arcilla cocida hecho a mano, notándose que no ha sido desplazado por otros que tienen mejores características, tales como resistencia mecánica, terminaciones. La mayoría de los albañiles, 67%, manifestó que el ladrillo prensado de arcilla y sílico-calórico presentaba mayores dificultades en su trabajo debido a que se trabajan con cantería a la vista, lo que significa mayor precisión en la colocación y terminación de las juntas. Por lo tanto se puede concluir que los distintos elementos no presentan en sí mismos dificultades para el albañil y sólo por requisitos especiales de estética resultan algunos de ellos más difíciles de trabajar.

Dosificación de mortero

No existe un criterio uniforme entre los constructores sobre cuál es la mezcla más apropiada para pegar los distintos elementos de albañilería que se usan en Chile. Esto podría deberse en parte a que se han adoptado proporciones que son de uso corriente en otros países, las cuales difieren grandemente unas de otras debido a las distintas condiciones que imperan en cada lugar, ya sean de sollicitaciones, clima o calidad de los materiales.

En Chile se utilizaban hasta hace algunos años solamente morteros de cemento y arena, en proporciones variables según el tipo de construcción. Actualmente se está empleando junto con el cemento y por substitución de parte de su volumen, una cal hidráulica, con el fin de dar a la mezcla algunas propiedades adicionales.

La cantidad de arena que debe usarse depende de su contenido de humedad (puesto que se mide en volumen), por lo que se decidió averiguar si los albañiles consideran el esponjamiento de la arena al medir las cantidades.

De las respuestas se desprende que la mayoría de los albañiles ha trabajado principalmente con morteros de cemento y arena. El 25% que respondió haber usado más morteros de cemento-cal y arena corresponde a albañiles con menos de 10 años de experiencia. Esto se justifica en parte por el hecho de que la cal hidráulica que se fabrica en el país data de los últimos años; en cuanto a las cales aéreas, se perdió la tradición y su empleo resulta actualmente desconocido para los albañiles.

El mortero cemento-arena que resultó tener la frecuencia más alta de empleo fue el de proporción 1:5. La distribución de las frecuencias es casi normal siendo la más rica 1:3 y la más pobre 1:8. En general la proporción 1:5 era aceptada como buena por los albañiles, pero algunos de ellos hicieron hincapié en la necesidad de regar mucho los muros y suplir de esta manera la pobreza de las mezclas.

La medición de los componentes se hace siempre en volumen; como unidad de volumen se usa la palada o bien se considera que el saco de cemento contiene siete paladas, con lo cual se puede calcular la equivalencia en paladas de arena de acuerdo a la proporción deseada. Según las respuestas obtenidas, se puede concluir que no toman en cuenta el esponjamiento de la arena.

En las construcciones de cierta importancia, los morteros se preparan en centrales de mezcla desde donde se reparten secos a los albañiles, con lo que se mejora la homogeneidad del mortero en toda la obra. La revoltura se hace manual o mecánicamente, limitándose los albañiles a agregar el agua necesaria. En otros casos la dosificación se hace por sacos de cemento y carretilladas de arena.

De la encuesta no se pudo obtener las proporciones que se emplean en los morteros de cemento y cal debido a que ellos se están utilizando recientemente y en obras de cierta magnitud, donde se opera con centrales de mezcla. Los morteros se dosifican siguiendo las especificaciones usuales, que varían entre 1:1:6 y 1:2:9 según que el muro sea soportante o no.

A los albañiles se les preguntó con qué morteros obtenían mejores resultados y las respuestas no fueron categóricas. Un 47% considera mejores los morteros de cemento y arena y un 36% obtiene mejores mezclas utilizando cal junto con el cemento. En estas respuestas el albañil se refiere al efecto que produce la cal en la trabajabilidad ya que en los casos en que se consultó con qué morteros construirían sus casas, la opinión mayoritaria fue por las mezclas sin cal.

Cementos empleados en morteros de albañilerías

Se pretendía conocer qué tipos de cementos se usan en las albañilerías, corrientes o de alta resistencia, y si entre los cementos que se emplean, existe alguno que presente características más favorables para esta clase de trabajos.

Los resultados mostraron claramente que en obras de albañilería se utilizan cementos corrientes. Los cementos de alta resistencia no se emplean en esta clase de construcciones, salvo en circunstancias ocasionales en que no se encuentran en el mercado cementos corrientes. A través de las respuestas se pudo notar que a los albañiles les es indiferente el cemento que usen.

Cales empleadas en morteros de albañilerías

Puesto que existen en el mercado dos tipos de cales: aéreas e hidráulicas, era necesario saber cuál de ellas utiliza con mayor frecuencia y si se estima que producen efectos distintos. Dado que se le atribuye a la cal una gran importancia en la trabajabilidad que conferiría a los morteros, se hacía conveniente averiguar entre los albañiles qué efectos notaban con la adición de cal.

Los resultados revelaron que en los morteros de cal y cemento se ocupa solamente cal hidráulica, ya que el 94% de los albañiles manifestaron haberla empleado, e indicaron que la cal aérea o espuma se utilizaba sólo en la pintura a la cal.

A los albañiles se les pidió que indicaran las características de las mezclas con cal comparadas con las que poseen las con cemento y arena. En las respuestas se refirieron generalmente a más de una propiedad, por lo que se contemplaron todas las características señaladas. De acuerdo a esto, las respuestas más frecuentes son las que se refieren a la "ligosidad" o plasticidad que confiere la cal al mortero

y al hecho de que las mezclas con cal les dañan las manos.

En segundo término se podría señalar el mayor tiempo que demoran en endurecer los morteros con cal. Con estos datos se puede concluir que la cal produce dos efectos contradictorios desde el punto de vista de la trabajabilidad; por una parte mejora la mezcla al hacerla más plástica, pero junto con esto, está el problema de la mayor causticidad de estos morteros, que dificulta el trabajo y obliga en muchos casos al uso de guantes con el inconveniente del menor rendimiento.

La menor velocidad de endurecimiento de estos morteros fue indicada por el 28% de los albañiles y solamente el 14% de ellos se refirió a la mayor retentividad que produce la cal, lo que podría hacer suponer que no es un efecto muy notable.

Las otras respuestas obtenidas no tienen mucha importancia, y son en algunos casos contradictorias.

Arenas empleadas en morteros de albañilería

En la trabajabilidad de los morteros influyen las siguientes características de las arenas: tamaño máximo, granulometría y contenido de finos. Las arenas dependen en sus características de su procedencia, ya sean de pozos o ríos, no conociéndose en forma precisa cuál de ellas es la que produce mejores morteros en cuanto a trabajabilidad. En este punto interesaba entonces conocer si para el albañil existe algún tipo de arena, entre las que corrientemente se utilizan en la zona de Santiago, que les fuera particularmente favorable y cuál era la más usada.

En cuanto a la granulometría más conveniente, convenía saber si prefieren arenas con predominio de granos gruesos o finos y si les resultaban más adecuadas las arenas lavadas o aquellas con un alto contenido de partículas finas.

Por otra parte, dado que el espesor de las juntas determina el tamaño máximo de las partículas de la arena, era necesario saber si se les hace algún tamizado, especialmente para el caso de las albañilerías de bloques, cuyas juntas son de pequeño espesor.

En este punto de la encuesta se obtuvo un resultado categórico; los albañiles prefieren usar la arena de Lepanto, que es una arena de pozo con una cantidad importante de partículas finas y módulo de finura superior a las arenas corrientes de la zona de Santiago. El efecto que produce esta arena en la mezcla es similar al de la cal, ya que le confiere cierta ligosidad.

Las arenas de río y en general las muy lavadas no sirven, según los albañiles, porque la mezcla se segrega y es difícil de trabajar, especialmente cuando los morteros son pobres en substancias aglomerantes.

En cuanto al tipo de granulometría que el albañil prefiere para su trabajo, la encuesta reveló que el 75% prefiere las arenas gruesas, lo que contradice la opinión general que supone que los albañiles trabajan mejor con arenas finas. El uso de arenas gruesas es favorable para la resistencia del mortero, ya que demandan menos agua para alcanzar la fluidez adecuada.

Para albañilerías de elementos que poseen caras lisas, como los bloques de hormigón, ladrillos prensados, etc., en las cuales las juntas de mortero son delgadas, se acostumbra a eliminar la parte más gruesa de la arena que impediría la buena acomodación del elemento. Para esto es usual tamizar la arena, siendo éste

el único tratamiento que es corriente en obra.

Fuidez del mortero

En esta propiedad de los morteros no endurecidos está envuelto el concepto de trabajabilidad, que es bastante difícil de precisar. El albañil es quien ajusta la cantidad de agua de la mezcla de acuerdo a su propia conveniencia, teniendo en cuenta la facilidad para manejar la mezcla con su plana y la capacidad para colocar el elemento a plomo y nivel sin dificultad, debiendo adquirir además cierta rigidez que permita continuar el trabajo a un ritmo adecuado.

Existen antecedentes que indican que la adherencia depende de la fluidez del mortero, por lo que era necesario conocer qué tipo de consistencia es la que prefieren y en particular qué efectos notaban en el caso de utilizar morteros secos.

La fluidez de un mortero varía por efecto del tiempo transcurrido desde su preparación, y también, en mayor medida, por el tiempo que está colocado sobre los elementos, a causa de la succión a que está sometido; además se tienen indicaciones de que agregar más agua a morteros ya preparados para devolverles su plasticidad, sería perjudicial para la resistencia.

Por estos motivos se decidió averiguar sobre la cantidad de mortero que prepara, el tiempo que le dura corrientemente la mezcla preparada y las medidas que toma cuando el mortero se seca más de lo conveniente.

El sistema corriente para pegar los elementos, es esparcir sobre la hilada inferior una faja de mortero, sobre la cual se van colocando los elementos de la hilada superior. Era de interés conocer la longitud de las fajas y si notaba alguna diferencia entre la colocación del primer elemento y el último sobre ellas.

De los resultados obtenidos se desprende que los albañiles ajustan el agua de modo de lograr una mezcla pastosa, cuya fluidez puede estimarse que varía entre 120% y 150% ASTM. La consistencia con que trabajan depende de la humedad en que se encuentran los elementos en el momento de su colocación, de la temperatura ambiente y de la velocidad del trabajo, además de la apreciación personal del albañil.

Se puede notar claramente que los albañiles desechan la posibilidad de emplear morteros secos, ya que el 94% de ellos lo estima desfavorable.

La forma como el albañil prepara el mortero es mojando parte de la mezcla seca contenida en su batea, amasando lo necesario para avanzar con el ritmo que se ha impuesto. Se puede decir por los resultados de la encuesta que el mortero no le dura normalmente más de 15 minutos y por lo tanto, no alcanzaría a sufrir alteraciones por pérdida de humedad o por fraguado. La norma ASTM C-270 recomienda que los morteros sean utilizados en un plazo máximo de $2\frac{1}{2}$ h después de fabricados, por lo que en este aspecto, los albañiles cumplirían ampliamente.

El albañil no le atribuye ninguna importancia al reamasado del mortero y le agrega más agua cada vez que lo nota más rígido, hecho que es aceptado por la norma ASTM C-270. Pero, por otra parte, el 34% de los albañiles consideró que dado el escaso tiempo que le dura el mortero preparado, no resultaba necesario agregar agua.

La longitud de las fajas de mortero que acostumbran a esparcir sobre la hilada inferior, resultaron ser mayores de 5 unidades (2 m), dependiendo principalmente del largo de los muros, pero en ningún caso sobrepasando los 6 m.

En cuanto al efecto que la succión del ladrillo produciría al mortero esparcido sobre la hilada, se puede decir que no apreciaban mayor diferencia.

Espesor de las juntas

La succión de los elementos de la hilada inferior afectará en mayor o menor medida al mortero de acuerdo al espesor de la junta, espesor que está condicionado a razones estéticas y al tipo de superficies de contacto de los elementos. Por esta causa era interesante saber desde el punto de vista de la trabajabilidad, si existía alguna razón para que el albañil prefiriera realizar juntas gruesas o delgadas, o si le era indiferente.

En general en este punto, el albañil manifestó estar de acuerdo con los espesores que se usan corrientemente. Las juntas gruesas, mayores de 2.5 cm, no son favorables para el albañil, ya que requerirían morteros mas secos y por lo tanto más difíciles de trabajar.

Estado de humedad de los elementos

Los elementos de albañilería tienen distintos grados de succión, que pueden ser modificados variando el contenido de humedad. Así por ejemplo, para los ladrillos, que son altamente absorbentes, se recomienda mojarlos, pero para los bloques no se tiene claridad en cuanto al tratamiento que debe dárseles, a causa de otro tipo de consideraciones, como retracción por secado, por ejemplo.

Se tiene información en el sentido de que la succión de los elementos afecta a la adherencia, y que existiría una succión óptima, que dependerá de las características de los elementos y de su estado de humedad.

Se necesitaba entonces conocer en qué estado de humedad están los elementos, tanto los cerámicos como los de hormigón, en el momento de su colocación.

La totalidad de los albañiles mojan los ladrillos antes de su colocación, pero algunos indicaron que el mojado no debía ser exagerado, puesto que les producía dificultades en la colocación, disminuyéndoles por lo tanto el rendimiento. La práctica de mojar los ladrillos para disminuirles la succión, está de acuerdo con las recomendaciones habituales para estas construcciones.

En cuanto a los bloques de hormigón, la opinión se dividió entre los que indicaron que se mojaban al igual que los ladrillos, y aquellos que dijeron que sólo se humedecían levemente cuando estaban demasiado secos; la razón con que justificaban el no mojarlos, era la mayor dificultad que significaba trabajar con los bloques con exceso de agua en su superficie. Ninguno de ellos indicó como motivo para no mojarlos los cambios de dimensiones que sufren estos elementos con los cambios en su contenido de humedad. Estas respuestas revelarían que no existe un conocimiento claro sobre las características diferentes entre estos elementos y los ladrillos.

En las recomendaciones para albañilerías de bloques hay una tendencia en el sentido de no mojarlos e incluso protegerlos de la humedad antes de colocarlos, para evitar así la retracción por secado que experimentarán dentro del muro. A través de la encuesta se llega a la conclusión de que prácticamente ninguna de

estas precauciones se cumple.

Controles en obra y curado

Con el fin de conocer qué medidas de control se toman en las obras para asegurar una buena calidad de las albañilerías, se decidió preguntar a los albañiles sobre los controles que se hacían de la calidad de su trabajo y si existían protecciones para los muros recién terminados. Se les preguntó también, si habían visto demoler muros recién construídos y por qué causas.

Los aglomerantes hidráulicos necesitan ambiente húmedo posterior a su colocación para desarrollar sus propiedades; una de las formas más corrientes de proporcionar esta humedad a las albañilerías es regándolas, por lo que se quiso conocer cuál es el método más empleado, cuánto dura y si se hace alguna distinción según el elemento usado, ya sean ladrillos en todos sus tipos o bloques de hormigón.

De las respuestas se desprende que no existe control sobre el trabajo del albañil, el que, como se sabe, influye en forma importante en la calidad de las albañilerías. Sólo se controla la alineación, verticalidad, espesor de las juntas y terminaciones, es decir, la parte geométrica de la obra y por defectos graves en estos aspectos se procede a demoler los muros.

La encuesta reveló además que los muros, tanto de ladrillos como de bloques recién terminados, se riegan generalmente durante un período inferior a una semana.

Colocación de los elementos y otros

La técnica empleada por el albañil en la colocación de los elementos, al igual que el tratamiento posterior de las juntas, es un factor que podría influir en la calidad de estas obras. Por esto era de interés conocer cuál es el procedimiento común para acomodar el elemento sobre el mortero y qué terminación se daba a las juntas; en particular, para el caso de la colocación de bloques huecos de hormigón, si el mortero se esparcía sobre toda la superficie o solamente en las fajas longitudinales, dejando los tabiques transversales de los bloques sin mortero.

Finalmente, para saber si existía alguna evolución en el campo de las albañilerías, se estimó conveniente preguntar los posibles cambios que hubieran notado en los materiales, métodos y herramientas.

El procedimiento empleado por el albañil para colocar a plomo y nivel cada uno de los elementos, es restregándolos en la capa de mortero y terminar el ajuste al nivel de la lienza por leves golpes con el mango de su plana; en ningún caso manifestaron emplear golpes como método para colocar los elementos.

En la colocación de los bloques, las opiniones estaban divididas entre esparcir el mortero sobre toda la superficie o solamente sobre los cordones laterales. La práctica en otros países es colocar el mortero sólo en fajas longitudinales, de modo de dejar libres los tabiques transversales del bloque, interrumpiendo así el paso de la humedad.

En general los albañiles no han apreciado cambios notables en los métodos y herramientas usadas, siendo el uso de cal en los morteros la única variación que según ellos se ha producido. El uso de aditivos en los morteros de albañilería es muy escaso y se reduce solamente a impermeabilizantes.

DISCUSION

Es necesario destacar que en general en nuestro país existen limitados conocimientos técnicos sobre las albañilerías, y especialmente sobre los bloques de hormigón, hecho que se comprueba por las disímiles respuestas dadas por los albañiles a través de la encuesta. Debe considerarse que las respuestas, por provenir de los albañiles, reflejan las condiciones corrientes de trabajo en la zona en que se realizó la encuesta (Santiago), y que además están influidas por los conocimientos que les han entregado los constructores.

La falta de criterios técnicos queda reflejada en el hecho de que, según los albañiles, en las albañilerías se controlan solamente los aspectos geométricos de las obras (alineaciones, plomadas, etc.), y no se tiene ningún cuidado sobre los aspectos constructivos, lo que es una deficiencia grave.

El problema de dosificación de los morteros en las obras es de bastante interés, ya que si los albañiles dosificaran sus morteros, ocurriría que cada uno de ellos interpretaría a su manera la dosificación especificada, lo que implicaría la posibilidad de que existiera dispersión en la calidad de los morteros dentro de la obra; por esto, el sistema de "centrales de mezcla" que se está utilizando, y que consiste en distribuir el mortero seco a los albañiles, desde centros en que se dosifica y prepara la mezcla, es aconsejable tanto desde el punto de vista de la mayor uniformidad de los morteros en toda la obra, como por el mayor rendimiento que se puede alcanzar.

Por otra parte, especificar dosificaciones en volumen para los morteros de albañilería no es conveniente, ya que las cantidades de aglomerantes y arena que se agreguen dependen de manera importante de las densidades aparentes que tengan estos materiales en el momento de su medición. Estas densidades aparentes están afectadas por las condiciones de compactación para los aglomerantes, influyendo también en la arena su contenido de humedad. Todos estos antecedentes indican que expresar las dosificaciones en volumen no es suficiente, por lo que es conveniente que además se establezcan en peso.

El procedimiento corriente empleado por los albañiles para colocar los ladrillos o bloques, que consiste en depositarlo sobre el mortero fresco, para luego acomodarlos al escantillón restregándolos, no parece ser el más adecuado, ya que en el caso de unidades de superficies grandes y rugosas, no se logra un contacto íntimo entre el mortero y la unidad (esto puede comprobarse si se levanta un ladrillo chonchón recién colocado). En las albañilerías de bloques de hormigón no se presentaría este problema en la misma medida que en las de otros tipos de unidades, debido a su mayor peso y menor superficie de contacto. Además, existen antecedentes que demuestran la conveniencia de golpear los elementos sobre el mortero fresco, para así mejorar la adherencia.

Las juntas verticales de las albañilerías se rellenan corrientemente una vez que el elemento ya está colocado, lo que conduce a que el contacto entre el mortero y los elementos que une no puede ser bueno, por lo que el procedimiento adecuado es que el mortero se coloque previamente en la cabeza del elemento

tes de su colocación, y luego se le comprima contra el elemento ya colocado.

Uno de los problemas más corrientes que presentan las albañilerías de bloques hormigón, es el agrietamiento que se produce en los muros por retracción de cada de estos elementos, localizándose las grietas de preferencia en las zonas donde existen cambios de sección, como son los vanos de puertas y ventanas. Este problema ha sido parcialmente resuelto en algunos países por un mejor diseño de los muros, en el cual se incorporan juntas de control debidamente espaciadas, colocando mallas de acero de refuerzo cada cierto número de hiladas, y evitando los muros continuos de distintas secciones, pero además procurando minimizar las variaciones de dimensiones de los bloques.

REFERENCIAS

ENVIRONMENTAL SCIENCE SERVICES ADMINISTRATION. *The Prince Williams Sound, Alaska, Earthquake of 1964 and aftershocks*. Vol. II, Parte A. U.S. Department of Commerce. 1967. XVII + 392 pp.

MC INTOSH, J.D. Is your research really necessary?. *Magazine of Concrete Research*, vol. 18, n° 57 (diciembre 1966) pp. 179-184.

RILEM/CIB COMMISSION. Mortars and renderings. *RILEM Bulletin* n° 30 (marzo 1966).

EXPERIMENTAL STUDY ON BOND BETWEEN MORTAR AND CONCRETE BLOCKS

SUMMARY:

This is a preliminary part of an experimental research on bond between concrete blocks and mortar. First the behaviour of masonry constructions as a result of the earthquake of march 28, 1965 was analised, and afterwards an inquiry was conducted among bricklayers to gather information upon the methods, materials and equipment used in chilean practice.

The results of these studies and some comments about them are presented.