



## ADHERENCIA ENTRE MORTERO Y BLOQUES DE HORMIGÓN: INFLUENCIA DE DIFERENTES VARIABLES\*

Atilano LAMANA\*\*  
Federico DELFIN\*\*  
Marcelo BULLEMORE\*\*

### RESUMEN

*Se presentan los resultados de experiencias hechas en probetas sobre la adherencia entre mortero y bloques, en las cuales se estudió la influencia de la dosificación en cemento del mortero, del tipo de cemento, del tipo de arena, del uso de cal, de la humedad de los bloques, del curado de las probetas y de otros factores. Se destaca la importancia de la granulometría y tamaño máximo de la arena, y la conveniencia de colocar los bloques con humedad semejante a la de equilibrio y de someter las juntas a curado húmedo.*

### GENERALIDADES

Los ensayos de las muestras extraídas de las construcciones dañadas por el sismo de Marzo de 1965, dejaron de manifiesto que el factor limitante de la resistencia de las albañilerías es la adherencia entre el mortero de unión y las unidades. Esta conclusión sirvió de base para el planteamiento de esta investigación, que tiene el propósito de determinar la importancia de algunos factores que están relacionados con la adherencia, los que pueden dividirse en aquéllos que dependen de los bloques, los que dependen del mortero y los que dependen de factores externos.

Aunque el estudio experimental que planteamos sobre adherencia del mortero se limita a bloques de hormigón, en esta revisión de antecedentes se consideran en general los relativos a unidades de albañilería sean bloques o ladrillos.

En investigaciones anteriores<sup>1,2,3,4</sup>, se han llegado a determinar algunos de los

---

\*Este artículo es continuación del que se publicó en la Revista del IDIEM vol. 9, n° 1, por los mismos autores.

\*\*Investigador de IDIEM.

factores que influyen en la adherencia, como son: composición, resistencia a compresión, contenido de aire y fluidez inicial del mortero; velocidad de absorción y estado de humedad del elemento en el momento de su colocación; curado húmedo y carga normal a la junta en el momento de ensayo. Pero los resultados de estas investigaciones se ven afectados por una gran dispersión, por lo que las conclusiones están dadas, en general, con una probabilidad baja.

Si se acepta la visión intuitiva de que la adherencia se produce por la penetración de la pasta de aglomerante en las unidades de albañilería provocada por la succión capilar que éstas ejercen sobre el mortero, se plantean de inmediato algunos factores a estudiar: la influencia de la succión del bloque, la fluidez, el contenido de aglomerante y la retentividad de agua del mortero. De estas variables principales se desprenden otras que indirectamente las afectan. Así es como resulta necesario estudiar el efecto del contenido de humedad de la unidad, ya que afectará a la succión; la cantidad de cal del mortero, que afectará a su retentividad y su resistencia mecánica; la influencia del espesor de las juntas de mortero, y la del tiempo de espera entre el esparcido del mortero sobre el bloque inferior y la colocación del bloque superior, que son dependientes de la retención del mortero y de la succión de la unidad de albañilería.

La calidad de los aglomerantes y de la arena afecta a todas las características del mortero tanto en estado fresco como endurecido. Por lo tanto deberán influir también en su capacidad adherente.

Las condiciones del ambiente, temperatura y humedad, en que permanecen los morteros durante su período de fraguado y endurecimiento tienen gran importancia en su resistencia a la compresión y existen antecedentes que indican que sus efectos sobre la capacidad adherente de los morteros es mucho más considerable que en la resistencia a la compresión. La influencia del curado en las albañilerías de bloques será por lo tanto otra importante variable a estudiar.

Otros factores, como calidad, forma y textura de las unidades de albañilería, la aplicación de fuerza de compresión a la junta en ensayos de cizalle para simular el efecto que se produce dentro del muro y el efecto del reamasado del mortero después de haber perdido su fluidez, no tienen la importancia de los anteriores en el esclarecimiento del problema.

En resumen se estudiarán los aspectos que conforme al análisis anterior, afectan en forma más directa a la adherencia. Estos son: composición del mortero; calidad y tipo de materiales empleados corrientemente en albañilerías; grado de fluidez del mortero; tiempo de interrupción; espesor de las juntas de mortero; estado de humedad de los elementos en el momento de su colocación, y curado.

La determinación del efecto de estos factores, si bien no permite explicar el mecanismo de la adherencia, proporcionará la información a partir de la cual se podrán formular recomendaciones que conduzcan a mejorar la calidad de las albañilerías de bloques de hormigón. Resulta de especial interés determinar el conjunto de condiciones que da lugar a una buena adherencia entre mortero y bloques, porque ese debe ser el punto de partida para elaborar las especificaciones sobre las prácticas adecuadas de ejecución de albañilerías de bloques. Construyendo los muros según tales especificaciones aumentarían las probabilidades de que resistieran en buen pie las sollicitaciones sísmicas.

## Composición de los morteros

Las proporciones del mortero en los distintos países varían dentro de un rango amplio que va desde mezclas compuestas por una parte de aglomerante y dos de arena hasta la razón 1:10 aglomerante/arena, en volumen.

En Chile se han comenzado a utilizar los morteros de cemento, cal y arena, además de los tradicionales compuestos de cemento y arena; no se tienen antecedentes de que se hayan empleado plastificantes, incorporadores de aire u otros aditivos similares en los morteros. La cal, que se utiliza por reemplazo en volumen de parte del cemento, es de tipo hidráulico, pero sus características de resistencia mecánica son inferiores a las cales hidráulicas europeas: en particular, no cumple con las especificaciones de la norma DIN 1060-1955 en este aspecto.

Al estudiar el parámetro proporciones de mezcla, interesa tanto conocer como varía la adherencia de un mortero al emplear distintas proporciones de aglomerante y arena, como lo que resulta al sustituir en volumen cantidades variables de cemento por cal. Experiencias realizadas por la Building Research Station<sup>5</sup> sobre el comportamiento de albañilerías de ladrillo sometidas a carga axial, mostraron que existe un máximo de resistencia a compresión de las albañilerías para morteros de razón aglomerante-arena 1:3 en volumen y sin cal.

Por otra parte, Copeland y Saxer<sup>1</sup> observaron que la adherencia a flexotracción de bloques de hormigón disminuye al aumentar el porcentaje de cal del mortero, obtuvieron los valores más altos con morteros 1:2 en volumen y sin cal, y encontraron una aceptable relación entre la resistencia a compresión de los morteros y la adherencia de ellos.

Fishburn<sup>2</sup> anteriormente había llegado a una relación semejante, también con bloques de hormigón, confirmando los resultados obtenidos por Williams y Benjamin<sup>3</sup> en ladrillos, haciendo notar estos últimos que la relación entre adherencia y resistencia mecánica es válida para morteros de consistencia fluida.

Existen por otra parte antecedentes que no concuerdan con los anteriores. Así por ejemplo, Forkner, Hagerman, Dear y Whittemore<sup>6</sup>, al comparar la adherencia producida por morteros con distintos contenidos de cal hidratada en ladrillos de arcilla, manteniendo constantes la fluidez del mortero y la succión del ladrillo, concluyeron que la cal mejoraba la adherencia del mortero.

De los antecedentes anteriores se desprende que no está totalmente definido el papel que jugaría la cal en el mortero, como tampoco las proporciones más convenientes para los materiales que los constituyen. Por esto se ha escogido lo relativo a la composición del mortero como uno de los puntos importantes de esta investigación.

## Tipo de cemento

La influencia del tipo de cemento en la calidad de los morteros para albañilería fue estudiada por Copeland y Saxer<sup>1</sup> y también por Fishburn<sup>2</sup>. Los primeros emplearon varios tipos de cementos portland y de albañilería. En general los resultados de estas investigaciones muestran que los cementos de albañilería, por la mayor incorporación de aire al mortero, dan una adherencia notablemente disminuida en relación al portland. Copeland y Saxer<sup>1</sup> observaron que el tipo

de cemento portland tenía poca influencia, haciendo notar sin embargo, que para obtener una buena adherencia a primeras edades, era conveniente el uso de cementos de alta resistencia inicial.

En Chile no se fabrican cementos de albañilería, ocupándose en estas construcciones casi exclusivamente los cementos corrientes, como lo revela la encuesta<sup>7</sup>. Los cementos de alta resistencia no son empleados, por su mayor precio y por posibles problemas de retracción. Debe hacerse notar que los cementos de alta resistencia chilenos son equivalentes a los cementos corrientes norteamericanos, por lo que para una misma dosificación los morteros nacionales son inferiores a los emplados en E.U.A. con cemento portland.

En atención a estos antecedentes se decidió estudiar comparativamente la influencia de los cementos corrientes y la de los de alta resistencia en las propiedades adherentes de los morteros, y comprobar el efecto de la combinación con cal hidráulica puzolánica de un cemento portland, un portland puzolánico y un puzolánico. Dada la mayor resistencia que se obtiene con los cementos de alta resistencia, es de interés también estudiar con estos cementos razones aglomerante-arena más débiles que las que usualmente se preparan con cementos corrientes. Para completar el cuadro, conviene además determinar la magnitud de la retracción que experimentan los morteros hechos con cementos de alta resistencia y compararla con la de los preparados con cemento corriente.

### Tipo de cal

Tanto en E.U.A. como en los países representados en la comisión RILEM-CIB se utilizan de preferencia los morteros compuestos por cemento y cal hidratada; la cal hidráulica también se emplea, pero su uso es mucho menos frecuente. Hay que recalcar que dentro de estos dos tipos de cales, existe una gran variedad de calidades, según cuáles sean su composición química o método de fabricación. Esto hace más difícil comparar los resultados de morteros de iguales composiciones, ya que puede suceder que cales que aparecen como del mismo tipo tengan propiedades muy diferentes.

El objetivo que se pretende al agregar cal a los morteros para albañilerías es conferirles mayor plasticidad y mejorarles la retentividad de agua, con lo cual se mejoraría la adherencia y se aseguraría que todas las unidades de albañilería queden conglomeradas por el mortero. La cal hidratada, que se caracteriza por tener una finura muy superior a cualquiera de los aglomerantes usuales, poseería también las mejores condiciones para cumplir este objetivo, ya que esta extraordinaria finura se traduce en una gran superficie específica y por lo tanto en una alta plasticidad y retención de agua. La cal hidráulica es inferior en este aspecto; pero, por poseer mejores propiedades aglomerantes, su reemplazo por parte de cemento no perjudicaría tanto a la resistencia del mortero.

En Chile, como ya se ha mencionado, se está utilizando una cal hidráulica que más propiamente es una cal puzolánica, caracterizada por ser una mezcla de hidróxido cálcico con los materiales ácidos (silíceo-arcillosos) que contenía la caliza, que no se combinaron en la cocción, los cuales tienen propiedades puzolánicas<sup>8</sup>. Estos materiales reaccionan entre sí durante la hidratación de la cal en

forma análoga a como lo hace la mezcla de hidróxido cálcico con la puzolana.

Existen algunas experiencias realizadas por el Centro de la Vivienda de la Universidad de Chile<sup>9</sup> que estudiaron el efecto de esta cal hidráulica en los morteros para albañilería, las que revelan que su empleo mejora la retentividad de agua, pero en muy pequeño monto, disminuyendo en cambio la resistencia mecánica y la adherencia con ladrillos prensados, por lo que no sería recomendable el uso de esta cal como reemplazo de parte del cemento. Sin embargo, como es importante establecer en forma más definitiva las características que confiere la cal hidráulica a los morteros, se ha incluido su estudio dentro de esta investigación. Junto con la cal hidráulica, se ha empleado una cal hidratada superfina, para obtener morteros semejantes a los que corrientemente se utilizan en E.U.A. y Europa.

### Forma de arena

La influencia de la arena en la calidad del mortero depende principalmente de su granulometría y de su contenido de material fino. La granulometría de la arena afecta a la demanda de pasta y a la trabajabilidad de la mezcla. Estos dos factores deben conjugarse para la obtención de un mortero óptimo, en el que con un mínimo de pasta se logre una adecuada trabajabilidad y un mínimo de retracción.

Otros factores que influyen en la calidad de una arena para mortero son: tipo de roca originaria, contenido de impurezas orgánicas, contenido de arcilla, humedad y otros, forma de las partículas y tamaño máximo de ellas.

Siendo la trabajabilidad un aspecto de primera importancia en los morteros, es necesario tener en cuenta la forma de los granos, ya que como es sabido, las partículas redondeadas son más favorables a este respecto que las partículas angulosas.

El tamaño máximo de las partículas de arena para albañilería ha sido motivo de varias investigaciones y aún no existe un criterio uniforme al respecto. En Chile se consideraban aptas arenas con tamaño máximo 3 mm, en E.U.A. hasta alrededor de 1930 se aceptaba como tamaño máximo 4,76 mm, actualmente 38 mm. Las normas británicas establecen 4,76 mm y en Rusia hacia 1935 se estableció un tamaño máximo de 2,5 mm. Algunos investigadores han propuesto terminar el tamaño máximo en función del espesor de las juntas. Así Haller<sup>10</sup> sugirió que se adoptara como tamaño máximo el valor de 1/2 espesor de la junta, Meyer<sup>11</sup> de 1/2 a 1/3 y Nycander<sup>12</sup> no más de 1/5.

Dadas las discrepancias que existen respecto al tamaño máximo que deben tener las arenas y la preferencia que manifiestan los albañiles por las arenas gruesas, es de interés investigar este aspecto. Además la encuesta<sup>7</sup> reveló que en la zona de Santiago se utiliza preferentemente la arena procedente de Lepanto, por lo que también se hace necesario investigar las propiedades que confiere a los morteros.

### Forma del mortero

Williams y Benjamin<sup>3</sup> encontraron que "para una combinación dada de materia-

les secos, la adherencia aumenta al aumentar la fluidez, pero como la composición y la fluidez del mortero no son independientes, morteros de distinta composición son afectados en forma diferente por la fluidez". Esta relación también la obtuvieron Copeland y Saxer<sup>1</sup>, pero en forma no concluyente.

Si aceptamos que la adherencia se produce por la penetración de la pasta del mortero en los capilares de las unidades de albañilería a causa de la succión ejercida por éstas, se puede inferir que mientras mayor sea la fluidez del mortero, más fácilmente se logrará la acción de las unidades sobre el mortero por el íntimo contacto que se produce y por la mayor cantidad de pasta fluida que estará en condiciones de penetrar. Deberá existir sin embargo un límite óptimo para la fluidez, ya que, para fluideces mayores, el mejoramiento debido a la mayor facilidad de penetración se verá contrarrestado por la pérdida de resistencia del mortero, con lo que la adherencia disminuiría.

En esta parte de la investigación se pretende determinar la zona de fluidez óptima de los morteros.

### Espesor de las juntas

De acuerdo a las experiencias realizadas por Caen<sup>13</sup> en los Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, la influencia de la calidad del mortero sobre la resistencia a compresión de las albañilerías es tanto más importante cuanto mayor sea la razón espesor de la junta/espesor de la unidad. Desde este punto de vista, sería de interés hacer las juntas lo más delgadas posible, con lo que las unidades soportarían un esfuerzo de tracción tanto menor cuanto más delgadas fuesen las juntas. Pero no se puede disminuir indefinidamente el espesor de las juntas; en efecto, las caras de contacto de las unidades no son nunca totalmente lisas, existiendo siempre asperezas y rugosidades. Si el espesor de la junta es demasiado pequeño, existirán en ciertos puntos concentraciones de tensiones que producirán la rotura de las unidades.

Por otra parte, la succión que ejercen las unidades de albañilería se manifiesta en forma gradual a lo alto del espesor de la junta de mortero. Davison<sup>14</sup> para estudiar el efecto de la succión del ladrillo sobre el mortero, dividió en dos la junta de 1/2" de espesor que había sido colocada sobre un ladrillo, y determinó el contenido de humedad de las mitades superior e inferior. Esto lo repitió con distintos tipos de ladrillos y para tiempos variables de succión y encontró que el contenido de humedad de la parte inferior disminuía notoriamente haciéndose cada vez menor que el de la parte superior. De acuerdo a ello se puede suponer que para espesores mayores la adherencia debería ser superior, ya que la superficie del mortero estaría menos afectada por la succión de la unidad inferior.

### Tiempo de interrupción

Se entiende por tiempo de interrupción al período de espera que transcurre desde el momento en que el mortero ha sido esparcido sobre una hilada y la colocación de las unidades de la hilada superior.

Al estudiar la influencia del tiempo de interrupción en la adherencia se pre-

tende un objetivo teórico, cual es fundamentar la hipótesis que explica la adherencia como una penetración de la pasta de mortero en las unidades en contacto con él, y uno práctico, que es determinar si el procedimiento empleado por el albañil de esparcir fajas de mortero sobre la hilada inferior, para luego colocar las unidades superiores, afecta en forma significativa a la adherencia por el mayor tiempo que en algunos casos ha estado el mortero en contacto con el bloque inferior antes de recibir al superior. Se puede hacer la hipótesis de que mientras mayor sea este tiempo de espera, menor será la posibilidad de que la unidad superior logre un buen contacto con el mortero ya succionado, y menor la penetración de pasta del mortero hacia dicha unidad. Con esto, la junta entre el mortero y la unidad superior sería la más débil, lo que en la práctica ha sido observado<sup>15</sup>. En esto estaría en juego también la mayor o menor retención de agua de los morteros; a mayor retención, menor sería la influencia del tiempo de espera.

Davison<sup>14</sup> estudió la pérdida de fluidez que se produce en los morteros esparcidos sobre ladrillos y mantenidos en estas condiciones tiempos variables desde 0 a 5 minutos. Observó que la mayor pérdida de humedad se produce en los dos primeros minutos, pero dependiendo en una alta medida de la retención de agua del mortero.

### Estado de humedad de los elementos

El estado de humedad en que se encuentran las unidades de albañilería en el momento de su colocación afectará a la succión que ejerzan sobre el mortero y, por lo tanto, a la adherencia que se obtenga entre ellos. Según Williams y Benjamin<sup>3</sup> "La succión se presta más que la absorción para describir las características de adherencia de las unidades, pero sin embargo, para unidades con bajas razones de succión, ninguna de estas propiedades, succión o absorción, definen bien la capacidad adherente de la unidad, existiendo una clara indicación de que las razones bajas de succión son más deseables que las altas".

Copeland y Saxer<sup>1</sup> estudiaron el efecto de la condición de humedad de los bloques de hormigón en la adherencia, llegando a la conclusión de que los mejores resultados se obtienen con probetas secas; sin embargo, para bloques de arcilla expandida, se encontró que un estado normal de humedad producía el óptimo de adherencia.

En Chile, la práctica es mojar cualquier tipo de unidad de albañilería, según se desprende de la encuesta<sup>7</sup>, lo que, de acuerdo a los antecedentes que se han analizado, sería contraproducente para las albañilerías de bloques. Un informe del Comité Technique Supérieur de la Maçonnerie<sup>16</sup>, por otra parte, indica como buena práctica el humedecer los bloques antes de utilizarlos. Sin embargo, una publicación de la Cement and Concrete Association<sup>17</sup> dice "En contadas ocasiones los bloques pueden necesitar ser humedecidos en sus caras de contacto para disminuir su succión. En general el humedecimiento no es recomendable ni necesario".

Es conveniente por lo tanto aclarar estas opiniones contrapuestas, investigando la influencia que el estado de humedad de las unidades tiene sobre la adherencia.

## Curado

Se entiende por curado el conjunto de medidas que se adoptan para evitar que los materiales compuestos por aglomerantes hidráulicos sufran pérdidas importantes de humedad durante el primer período de hidratación.

En albañilerías aún no se le asigna un papel destacado al curado, a pesar de que fácilmente puede intuirse su importancia; en efecto, las juntas de mortero son de reducido volumen, especialmente en el caso de las albañilerías de bloques de hormigón, y están expuestas a la succión de las unidades en contacto con ellas y a la circulación del aire junto a los muros, con la consiguiente pérdida de humedad y aceleración del endurecimiento.

Se ha investigado sobre la influencia del curado en la resistencia de las albañilerías, con resultados contradictorios. Copeland y Saxer<sup>1</sup> obtuvieron para distintos tipos de curado, en albañilería de bloques, resultados bastante categóricos, alcanzando con los procedimientos más efectivos aumentos de adherencia de más de 100%. Sin embargo, Davis<sup>18</sup> concluyó que el curado húmedo de las albañilerías de ladrillo no las beneficiaba, ya que la media de adherencia a tracción obtenida con probetas curadas en ambiente seco fue superior a la media de las que fueron regadas dos veces al día durante dos semanas y dejadas luego al aire. Esto indicaría, según el autor, que las probetas tenían suficiente humedad como para proveer la hidratación del cemento, y que la humedad adicional incorporada por el curado solamente saturaba al ladrillo, disminuyendo la adherencia entre él y el mortero, como también la resistencia del ladrillo mismo.

Con estos antecedentes se puede deducir que el curado es un aspecto que debe ser más profundamente estudiado.

## Tipo de ensayo

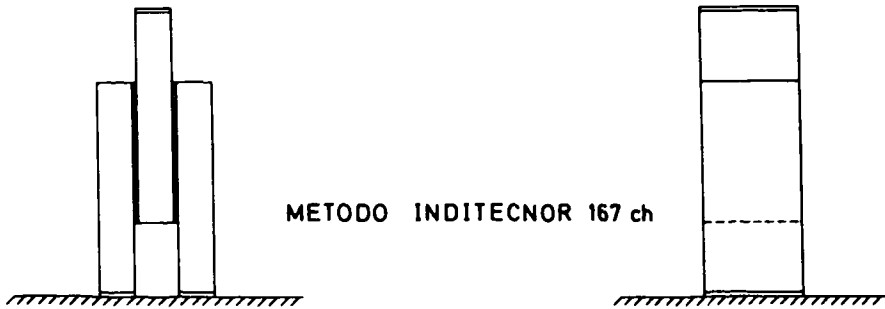
Existen varios métodos de ensayo, actualmente en uso, para determinar la adherencia de los morteros de albañilerías y estucos. Todos ellos presentan el inconveniente de la dispersión de los resultados, lo que ha significado que sea éste un aspecto bastante estudiado por diferentes investigadores. Pearson<sup>4</sup> analizando los resultados de diferentes métodos llegó a la conclusión de que existen ciertos factores aún no controlados que hacen variar mucho los resultados de una probeta a otra. Lo mismo se concluye en la investigación de Kuenning<sup>19</sup> en donde se llega a constatar coeficientes de variación de hasta 52% para algunos métodos, siendo el promedio del orden de 20%.

Entre los métodos tradicionales para medir la adherencia del mortero con ladrillos se encuentran aquellos basados en probetas formadas por tres ladrillos (Norma INDITECNOR 30.54 ch) y el de dos ladrillos cruzados (ASTM E 149), Fig. 1.

Estos métodos no son apropiados para determinar la adherencia del mortero con los bloques de hormigón, debido a los huecos que éstos poseen y a la forma de colocar en ellos el mortero para realizar las juntas. Por esto algunos investigadores, entre ellos Saemann<sup>20</sup>, Fishburn<sup>2</sup> y Copeland y Saxer<sup>1</sup> han utilizado para los bloques de hormigón un ensayo de flexión transversal al plano, en probetas formadas por dos bloques pegados con mortero en la misma forma como



se utilizan en la práctica. Actualmente este método de ensayo corresponde a la norma ASTM E 149-59 T.



METODO INDITECNOR 167 ch

METODO ASTM E 149



Fig. 1. Esquema de los métodos para medir la adherencia de ladrillos.

Este sistema de ensayo refleja en escala reducida las solicitaciones que deberá resistir un muro al actuar esfuerzos perpendiculares a su plano o bien esfuerzos sísmicos, ya que según los informes de los sismos de Anchorage<sup>21</sup>, Alaska 1964 y Zona Central-Norte de Chile, 1965<sup>22</sup>, hubo casos en que los muros fallaron por flexión antes que por esfuerzos de corte. Al actuar la flexión se producen esfuerzos de tracción y compresión sobre el mortero, bloques y planos de unión entre ellos, fallando por tracción las zonas más débiles, que son normalmente los planos de unión. Por estas razones se ha escogido este método de ensayo para esta investigación; además al emplear el mismo ensayo que en otras investigaciones, será posible relacionar los resultados obtenidos en esta oportunidad con los conseguidos anteriormente.

## MATERIALES

### Bloques

Se utilizaron bloques de hormigón corriente, hechos con cemento, gravilla y arena, proporcionados por una fábrica de Santiago, lo que da una razonable seguridad de constancia de calidad, forma y textura.

Los bloques tenían una resistencia media a la compresión de  $70 \text{ kg/cm}^2$ , calculada sobre el área bruta, una absorción de agua de  $136 \text{ l/m}^3$  y un contenido de humedad en equilibrio con el ambiente de  $23 \text{ l/m}^3$ .

## Cemento

Se emplearon tres cementos diferentes cuyas denominaciones según la norma chilena son: portland puzolánico corriente (Polpaico especial), portland puzolánico de alta resistencia (Polpaico 400) y portland de alta resistencia (Supermelon).

## Cales

Se usó una cal hidráulica y otra hidratada, ambas fabricadas por Soprocál. Tenían superficie específica Blaine de 16355 y 10086 cm<sup>2</sup>/g respectivamente, y sus resistencias a la compresión a los 28 días según procedimiento DIN 1060, 1955, eran de 17 y 5 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

## Arenas

Se emplearon arenas provenientes de Arrip y Lepanto, cuyas granulometrías aparecen en la Fig. 2.

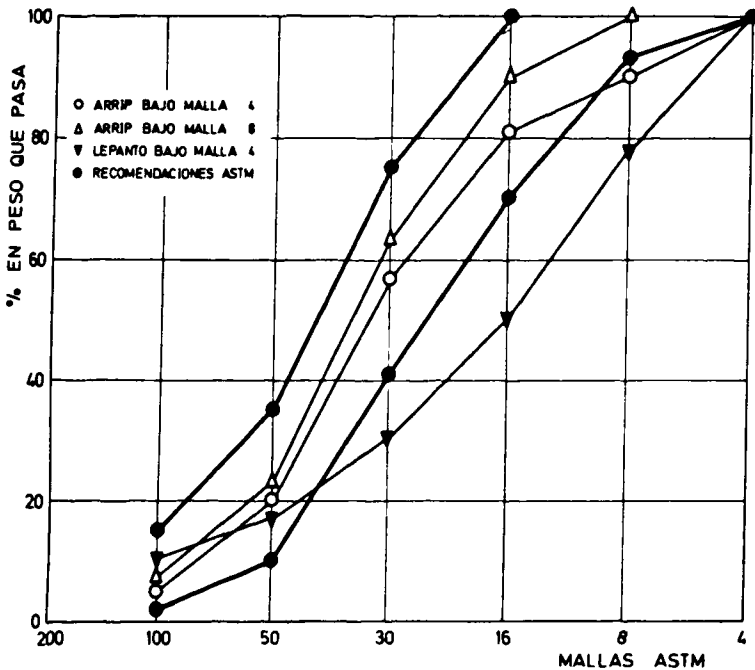


Fig. 2. Granulometrías de las arenas empleadas.

## EQUIPO Y METODO

Para preparar el mortero se ocupó una revolvedora Tonindustrie de dos velocidades. Su capacidad no era suficiente para mezclar la cantidad total de mortero de una vez y por ello fue necesario hacerlo en dos partes, que se mezclaban a mano en un recipiente.

La fluidez del mortero se midió con una mesa de golpes según el método

ASTM C 109, y la retención de agua con el aparato descrito en ASTM C 91.

Para preparar las probetas, formadas por dos bloques unidos por mortero, se habilitaron ciertos dispositivos con el objeto de lograr coincidencia de ubicación entre el bloque superior y el inferior y de mantener constante el espesor de la unión. Fueron éstos un molde, en forma de marco rectangular de madera, para colocar las fajas de mortero; guías para ajustar el bloque superior; platinas para mantener el espesor uniforme de las juntas, y llagucros para la terminación de éstas.

Para determinar las resistencias del mortero se utilizaron probetas RILEM y para la retracción probetas según norma ASTM C 227.

Para ensayar las probetas de bloques se usó el método ASTM E 149 con algunas modificaciones en el equipo, para adaptarlo a la máquina de ensayo disponible, según se muestra en Fig. 3.

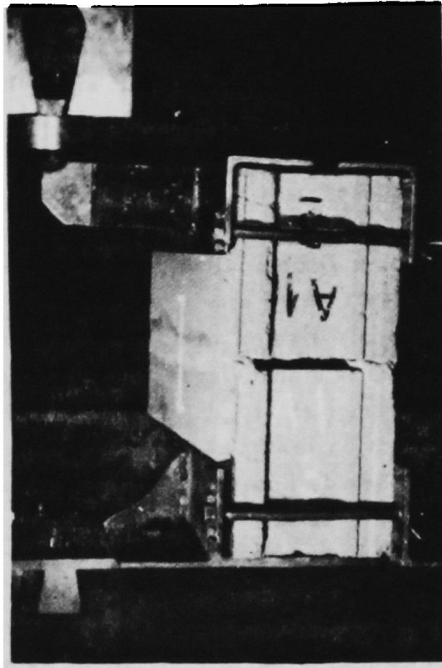


Fig. 3. Dispositivo para el ensayo de las probetas de bloques.

### Programación de las experiencias

Se abordó este estudio a través de nueve grupos de condiciones, cada uno de los cuales abarcó una sola variable que fue estudiada para distintos casos particulares con distintos morteros.

Para hacer posible el análisis de los resultados, se eligió un valor de cada uno de los parámetros como básico o de referencia, asignándosele ese valor al parámetro en todos los grupos con excepción de aquel o aquéllos en que era la variable en estudio.

En todos los casos se mantuvieron constantes el tipo de bloques y los procedimientos de preparación y ensayo de las probetas. Como parámetros básicos se eligieron aquéllos que eran más representativos de las prácticas corrientes en

construcciones de albañilería. Ellos fueron: el cemento Polpaico Especial; la cal hidráulica Soprocal; la arena Arrip bajo malla 8; un espesor de junta de un centímetro; una fluidez de 140% , que es equivalente a la que los albañiles prefieren, a juzgar por la consistencia de los morteros empleados; un tiempo de interrupción de dos minutos, tiempo medio empleado por un albañil normal en colocar los bloques correspondientes a un tendel de mortero; un estado de humedad y un curado de las probetas que resulta de dejarlos al aire ambiente.

Cada uno de los nueve grupos se designó con una letra y dentro del grupo cada serie se identificó con un número. El grupo A correspondió a la variación de la relación aglomerante-arena de la mezcla entre los valores 1:3, 1:4 y 1:6, en volúmenes aparentes; dentro del aglomerante, además, se varió la razón cemento-cal, en tres grupos: 0% , 20% y 33 1/3 % de cal en sustitución del cemento. En total este grupo constó de 9 series. Los volúmenes aparentes se consideraron para materiales en estado seco y sueltos, a los que correspondieron las siguientes densidades aparentes, determinadas en el laboratorio: cemento 1,1 kg/dm<sup>3</sup>, cal hidráulica 0,6 kg/dm<sup>3</sup>, cal hidratada 0,5 kg/dm<sup>3</sup>, arena 1,6 kg/dm<sup>3</sup>. Fijadas estas densidades aparentes, los morteros se confeccionaron cada vez en peso.

En el grupo B se estudió la influencia del tipo de cemento, en combinación con tres dosificaciones diferentes para dos de los cementos y seis para el tercero. Hubo en este grupo 12 casos.

La influencia del tipo de cal fue analizada en el grupo C, para dos cementos y dos dosificaciones diferentes. Constó este grupo de 8 series.

El grupo D comprendió la variación de la arena en tres tipos diferentes, con tres dosificaciones básicas, que se mantuvieron en todos los grupos siguientes.

En el grupo E se estudió el efecto de tres fluideces diferentes de mortero. El F correspondió a espesores de junta; el G, a cuatro tiempos distintos de interrupción; el H, a las variaciones de humedad de los bloques, y el I a cuatro condiciones diferentes de curado.

Una vez completadas las series programadas se hicieron experiencias suplementarias con mortero 1:2 aglomerante/arena, en las cuales el mortero 1:0:2 dio adherencias inferiores al 1:0:3, a pesar de que sus resistencias a la compresión fueron más altas. Este punto, de gran interés, no lo damos por suficientemente confirmado y merecería una investigación especial.

## Preparación y ensayo de las probetas

### Preparación del mortero y medición de sus propiedades en estado fresco

Para la fabricación del mortero se siguió la norma ASTM C 305-64, que establece el procedimiento de mezclado y especifica las características del equipo a emplear y las condiciones del ambiente y de los materiales.

La fluidez del mortero se consideró como propiedad fundamental, y se medía de acuerdo al método ASTM C 109 sección 9, el que especifica el equipo y procedimiento a seguir, la cantidad de agua se determinó en función de la fluidez requerida.

La retención de agua se determinó por el método especificado por ASTM C 91. Para este ensayo la norma establece que la fluidez inicial del mortero debe ser  $110 \pm 5\%$ , lo que no se cumplió en este caso, ya que se consideró la fluidez

140 ± 5% como básica para el estudio de la adherencia, por lo que ésta fue la fluidez inicial para los ensayos de retentividad.

#### Preparación y ensayo de las probetas de adherencia

**Preparación.** El método para preparar las probetas de adherencia se estableció después de realizar varias series de prueba con el fin de obtener un procedimiento que asegurara la repetibilidad de los ensayos. Constó de las siguientes operaciones: Preparar las unidades: debían estar perfectamente escobilladas, sin presentar partículas sueltas en su superficie.

Mantener constante el espesor y ancho de las fajas de mortero: mediante un molde especial para este objeto, Fig. 4.

Compactar las fajas de mortero: se compactaban uniformemente con un pisón de madera de iguales dimensiones al especificado en la norma ASTM C 109.

Respetar el tiempo de espera antes de colocar el bloque superior de la probeta: se esperaban 2 minutos (o lo que correspondiera en el caso del grupo de variación de este parámetro) a partir del momento en que se terminaba de llenar el molde con las fajas del mortero.

Colocar el bloque superior: se hacía apoyándose en guías especiales a fin de lograr la coincidencia de ambos bloques, Fig. 5.

Asentar el bloque superior: mediante golpes uniformes, se asentaba el bloque superior en las fajas de mortero hasta llegar a topar con las platinas que tenían el espesor de las juntas, Figs. 6 y 7.

Terminar las juntas: se procedía a presionar el mortero que había escurrido hacia el exterior mediante una plana y posteriormente a llaguear las juntas.

Curar: se dejaban las probetas en las condiciones ambientales determinadas, manteniéndolas así, sin moverlas, hasta el momento del ensayo.

**Ensayo.** El ensayo efectuado a los 28 días, es el normalizado por ASTM E 149, pero adaptado a esta investigación; consiste en someter a flexión una probeta formada por dos bloques pegados por fajas de mortero. Para su realización fue preciso diseñar un dispositivo que se adaptara a una de las máquinas de ensayo disponible. Este aparato y sus características se observan en la Fig. 3.

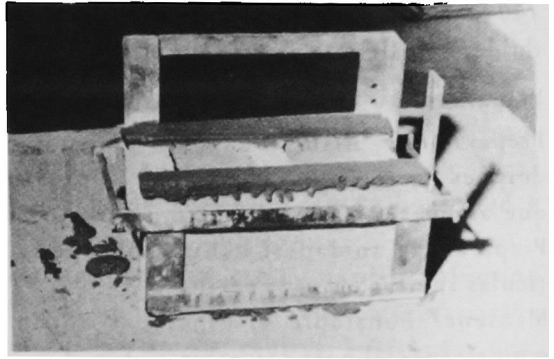
#### Preparación y ensayo de las probetas de flexotracción de los morteros

Con cada uno de los morteros estudiados se prepararon tres probetas de 4 x 4 x 16 cm. El llenado de los moldes se hacía en dos capas que se apisonaban de manera uniforme; el enrase de las superficies de las probetas se realizaba después

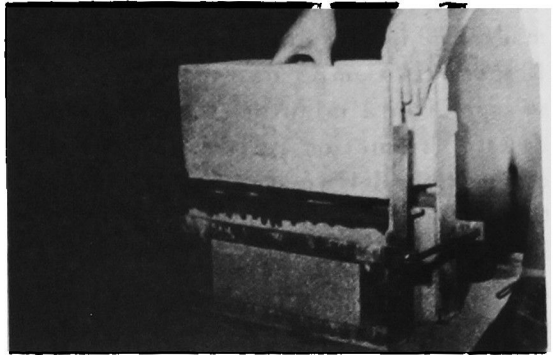


Fig. 4. El mortero se esparce sobre el bloque inferior en forma de cordones paralelos.

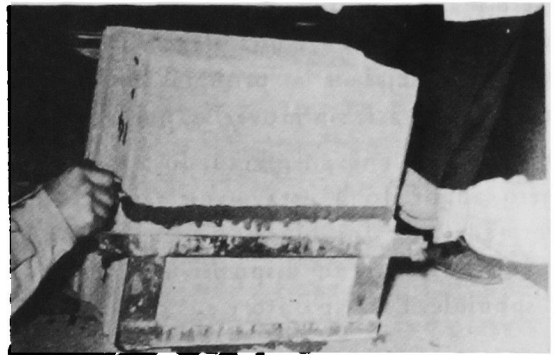
**Fig. 5.** Mediante guías se consigue que el bloque superior coincida exactamente con el inferior.



**Fig. 6.** Se coloca el bloque superior.



**Fig. 7.** Se compacta sobre el bloque superior asegurando por medio de platinas que las juntas de mortero tengan un espesor uniforme.



de media hora con el fin de evitar que por efecto de la sedimentación resultaran probetas de menor altura.

Estos prismas de mortero se mantenían en cámara húmeda durante 28 días y se ensayaban en la misma forma que especifica la RILEM para el control de calidad de los cementos, esto es, a flexión, y los trozos resultantes de este ensayo a compresión.

**Preparación y medición de las probetas para determinar la retracción de los morteros**

Se siguió el método ASTM C 227. De cada mortero seleccionado se fabricaron cuatro probetas cuyas dimensiones son 1 x 1 x 11". Luego de desmoldadas se mantuvieron durante todo el período de medición en una cámara controlada de 50% de humedad relativa y 23°C de temperatura.

### Preparación y medición de las probetas para determinar los cambios de dimensiones de los bloques con la humedad

Se utilizaron dos procedimientos; uno consistía en medir directamente en los bloques las variaciones de dimensión mediante un extensómetro Huggenberger Tipo D-2, y el otro, en cambio, requería de probetas de aproximadamente  $1 \times 1 \times 11''$  cortadas de los bloques, ocupándose en este último caso el mismo comparador utilizado en la medición de la retracción de los morteros. En ambos casos los puntos de medición se materializaron mediante pequeñas placas de aluminio pegadas al hormigón por medio de adhesivos epóxicos.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en estas experiencias se presentan en las Tablas I y II. En la primera de ellas aparecen los valores obtenidos con distintos tipos de cementos y con las diversas proporciones de mezclas usadas. En la Tabla II se dan los demás valores correspondientes a la variación de los otros parámetros y se incluyen los de los morteros de referencia para facilitar la confrontación.

Además, en las Figs. 8 a 11 aparecen, en forma de gráfico, los valores de las series que se consideran más significativas; son ellas, respectivamente, la de los tipos de cementos, la de las arenas, la de la humedad de los bloques y la del curado de las probetas.

TABLA I  
RESISTENCIA DE COMPRESION Y FLEXOTRACCION DE LOS MORTEROS Y DE ADHERENCIA DE LAS PROBETAS EN FUNCION DE LAS PROPORCIONES Y DE LOS TIPOS DE CEMENTO ( $\text{kg/cm}^2$ )

Proporciones cemento:cal:arena en volúmenes	Dosis de* cemento $\text{kg/m}^3$	Polpaico Especial*			Polpaico 400			Super Melón		
		Compre- sión	Flexo- tracción	Adhe- rencia	Compre- sión	Flexo- tracción	Adhe- rencia	Compre- sión	Flexo- tracción	Adhe- rencia
1:0:3	365	86.8	27.8	3.86	151.1	41.0	6.65	171.5	44.8	6.97
1:1/4:3 3/4	292	61.8	20.8	3.75	84.7	26.8	5.53	124.0	34.6	6.90
1:1/2:4 1/2	243	45.1	16.4	2.51	58.8	20.7	5.07	88.6	26.3	6.18
1:1:6	182	26.5	9.4	1.66	-	-	-	-	-	-
1:2:9	122	15.5	5.1	1.48	-	-	-	-	-	-
1:0:4	273	47.6	16.8	3.73	-	-	-	109.1	30.7	5.79
1:1/4:5	219	31.2	11.3	3.28	-	-	-	66.0	21.3	3.57
1:0:6	181	13.0	6.5	1.44	-	-	-	-	-	-
1:1/4:7 1/2	145	12.1	5.4	1.24	-	-	-	-	-	-

\*Morteros de referencia.

TABLA II  
RESISTENCIAS DE COMPRESION Y FLEXOTRACCION DE LOS MORTEROS Y DE ADHERENCIA  
DE LAS PROBETAS EN FUNCION DE LAS VARIABLES ANALIZADAS (kg/cm<sup>2</sup>):

Proporciones en Volúmenes	Dosis Cemento kg/m <sup>3</sup>	Referencia*	Cal Hidratada	Arenas		Fluidez		Espesor 2 cm
				A-4	L-4	110%	150%	
1:0:3	365	27.8		32.6	37.4	29.7	27.6	27.8
		86.8		117.8	139.7	96.5	84.8	86.8
		3.86		4.66	5.63	2.89	2.46	2.97
1:1/4:3 3/4	292	20.8	31.3	25.2	30.9	24.1	23.1	20.8
		61.8	60.9	86.4	102.8	74.2	67.0	61.8
		3.75	2.19	4.08	4.82	2.37	1.62	2.13
1:1/2:4 1/2	243	16.4	16.5	19.0	24.7	19.8	15.3	16.4
		45.1	43.6	56.6	75.1	59.3	38.2	45.1
		2.51	2.18	2.44	2.78	0.70	1.42	2.99

Proporciones en Volúmenes	Dosis Cemento kg/m <sup>3</sup>	Referencia*	Tiempo Espera			Humedad Bloques			Curado		
			1'	4'	6'	S	M	H	B	C	D
1:0:3	365	27.8	3.56	2.69	3.56	3.25	3.88	2.16	9.63	4.04	12.51
		86.8									
		3.86									
1:1/4:3 3/4	292	20.8	2.07	1.90	3.00	3.06	2.36	1.10	9.46	4.42	10.19
		61.8									
		3.75									
1:1/2:4 1/2	243	16.4	1.64	1.65	1.60	1.83	2.68	0.70	3.58	3.61	8.01
		45.1									
		2.51									

\*En todas las columnas el primer valor corresponde a flexotracción, el segundo a compresión y el tercero a adherencia.

A-4, arena Arrip bajo malla #4 ASTM; L-4, arena Lepanto bajo malla #4 ASTM.

S, seco al horno; M, humedad intermedia; H, saturado.

B, una semana bajo arpilleras húmedas; C, regado de la junta durante una semana;

D, cámara húmeda durante 28 días.

## INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

### Influencia de los factores analizados

Los resultados obtenidos muestran que la adherencia es una propiedad difícil de evaluar, ya que los valores resultantes de los ensayos presentan dispersiones fuertes, siendo ésta una característica general en todas las investigaciones sobre adherencia entre mortero y elementos de albañilería que se han realizado.

### Composición del mortero

La adherencia disminuyó en forma sistemática al disminuir la dosis de aglomerante total, desde la relación 1:3 hasta la 1:6 de aglomerante/arena. Por otra parte, en cada una de esas relaciones la adherencia disminuyó también al aumentar el porcentaje de cal empleada en reemplazo del cemento. La disminución de adherencia en todos esos casos coincidió con disminuciones de la resistencia a la com-



presión y a la flexotracción del mortero.

Para el menor reemplazo de cemento por cal, que fue del 20%, el descenso de adherencia fue consecuentemente el menor, y en particular pequeño para el mortero 1:3, aglomerante/arena; pero hay que advertir que al ensayar ese mortero sin cal (1:0:3), hubo 3 de 7 probetas en las cuales no fallaron las juntas sino los bloques mismos, por lo que la media real de adherencia es superior al valor anotado.

La retención de agua en los distintos morteros fue inferior al 70%, valor que ASTM recomienda como mínimo. En todo caso, resulta que la adherencia del mortero queda mejor caracterizada por su resistencia a la compresión que por su retención de agua; así, al reemplazar cemento por cal, la retención de agua aumenta, pero la adherencia disminuye al mismo tiempo que la resistencia del mortero.

#### Tipo de cemento

Tal como se esperaba, los cementos de alta resistencia, Super Melón y Polpaico 400, produjeron mayor adherencia que el cemento corriente (Tabla I y Fig. 8); pero conviene dejar constancia de que la proporción de aumento de resistencia a la compresión de los morteros fue superior a la que se obtiene normalmente con esos cementos en el ensayo RILEM y en resistencia a compresión de hormi-gones, y eso sin tener en cuenta que con los morteros 1:0:3 fallaron los bloques en tres de cuatro casos, con cemento Super, y en uno de cuatro con Polpaico 400; y para el 1:1/4:3 3/4 fallaron los bloques en uno de cuatro casos, con ambos cementos.

Los aumentos de adherencia obtenidos con cemento de alta resistencia, en morteros sin cal o con poca cal, guardan una relación muy cercana a la de los aumentos de resistencia a la compresión que producen estos mismos cementos

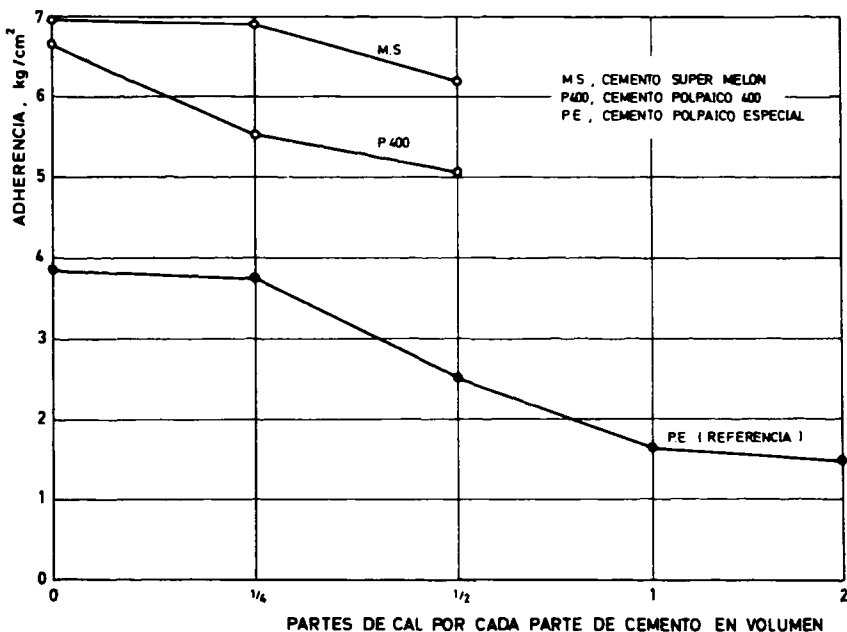


Fig. 8. Influencia del tipo de cemento. Aglomerante-arena 1:3 en volumen.

con respecto al cemento corriente. Con mayor contenido de cal mejora la relación entre la adherencia y la resistencia a la compresión.

El efecto del tipo de cemento se nota muy bien en el hecho que el mortero 1:4 con cemento Super dio adherencia más alta que el 1:3 con cemento corriente, a pesar de la fuerte disminución de aglomerante.

En este grupo también quedó en claro que el empleo de cal en sustitución de cemento reduce la adherencia.

### Tipo de cal

Los resultados de la Tabla II muestran que en todos los casos los morteros con cal hidráulica produjeron mayor adherencia que aquellos con cal aérea, en lo que debió de influir la mayor finura de la cal hidráulica empleada. Es de notar que las resistencias mecánicas del mortero fueron prácticamente iguales para los dos tipos de cal.

### Tipo de arena

En la Tabla II y en la Fig. 9 se ve que con arena gruesa, tamaño máximo de 4,76 mm, se obtuvieron mejores resultados que con arena de la misma procedencia (ARRIP) tamizada bajo 2,38 mm, a pesar de que éste es el tamaño máximo recomendado por las normas ASTM para morteros de albañilería. Puede explicarse esa diferencia, en general, en razón de que las arenas gruesas requieren menos agua para una fluidez dada, con lo que mejora la resistencia mecánica del mortero.

La arena de Lepanto, preferida por los albañiles de Santiago, dio adherencias claramente superiores a la de ARRIP, en correspondencia con resistencias mecánicas más altas y con retracción bastante inferior. Estas dos características podrían servir de explicación para las mayores adherencias alcanzadas.

Igual que en los grupos anteriores, la adherencia y la resistencia a la compresión disminuyeron con el aumento de cal en sustitución de cemento.

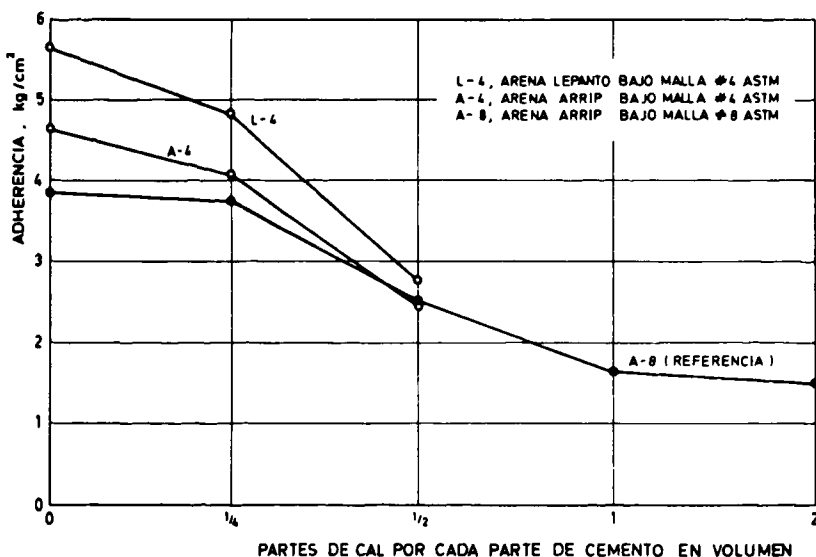


Fig. 9. Influencia del tipo de arena. Aglomerante-arena 1:3 en volumen.

### Fluidez

Con fluidez de 140% se lograron mejores resultados de adherencia que con 110% y 150%, si bien con fluidez 110% se obtuvieron las resistencias mecánicas más altas del mortero. Esto último señala que la adherencia no sólo depende de la resistencia del mortero, sino también de la interacción mortero-bloque.

Nuevamente resultó en estas series que el aumento de cal en sustitución de cemento disminuye la adherencia.

### Espesor de las juntas

Al aumentar el espesor de la junta de 1 cm a 2 cm disminuyó la adherencia, excepto en el mortero con más cal. Se había supuesto al plantear la experimentación que cuanto mayor fuera el espesor menos influencia tendría la succión del bloque inferior en la superficie del mortero, lo que mejoraría la adherencia. Los resultados tienden a rechazar esta hipótesis y podemos suponer que en ello influyó la menor compactación que requirió el mortero. Al fabricar las probetas se partió de un espesor de 3,4 cm para luego reducirlo a 2 cm por medio de golpes dados en el bloque superior; las fajas de mortero de esas dimensiones (3,4 cm de alto y 4 cm de ancho) se escurrían con facilidad por lo que la compactación que se necesitó dar a esas probetas fue inferior a la requerida cuando las juntas eran de 1 cm de espesor. En abono de esta explicación tenemos que, mientras para las juntas de 1 cm la rotura se produjo indistintamente en su plano superior o inferior, en las juntas de 2 cm la rotura predominante fue en el superior, esto es, en la superficie de contacto del mortero con el bloque superior (75% de rotura en el plano superior, 8% en el inferior y 17% roturas mixtas).

### Tiempo de interrupción

Los resultados con respecto al tiempo de demora en colocar el bloque superior no son claros. Hay fuertes dispersiones y variaciones no consistentes ni sistemáticas al aumentar el tiempo. En todo caso, con 6 minutos de espera predominan las roturas en el plano superior de la junta lo que no ocurre con menores tiempos.

También en esta serie se confirma que la adherencia disminuye al aumentar la proporción de cal en el aglomerante.

### Humedad de los bloques

Los resultados obtenidos en el estudio de la influencia de esta variable en la adherencia son bastante concluyentes y muestran que las condiciones extremas de humedad en que pueden estar los bloques, secos hasta peso constante (S) o saturados (H), producen adherencias inferiores a las que se obtienen con condiciones corrientes de humedad (E y M), Tabla II y Fig. 10.

Se puede apreciar, también, en forma clara, que con los bloques saturados las adherencias resultantes son notablemente inferiores a las obtenidas con otros estados de humedad.

Al estar los bloques saturados, la succión del bloque es casi nula, por lo que la penetración de la pasta de aglomerante y en consecuencia las ligazones del mortero con los bloques, son necesariamente muy limitadas.

### Curado de las probetas

De todos los factores estudiados relacionados con la adherencia el que resulta

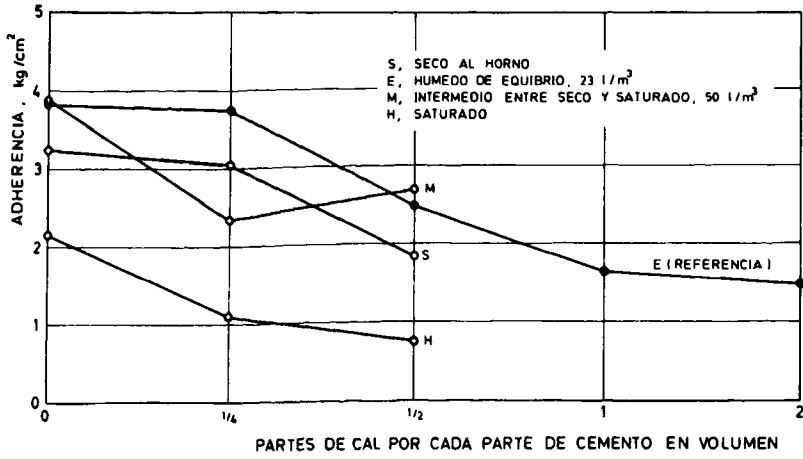


Fig. 10. Influencia de la humedad de los bloques. Aglomerante-arena 1:3 en volumen.

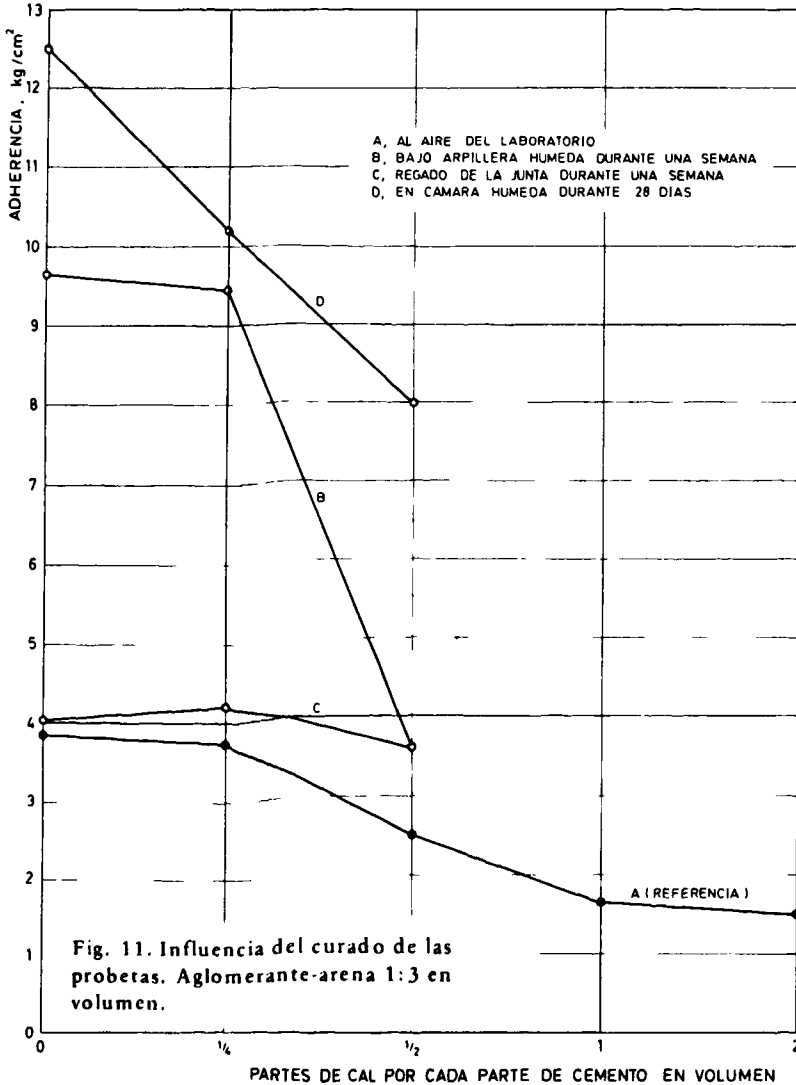


Fig. 11. Influencia del curado de las probetas. Aglomerante-arena 1:3 en volumen.

de mayor importancia es el curado, Tabla II y Fig. 11.

El curado en cámara húmeda (D) fue el que produjo valores más altos de adherencia, y si se considera que las probetas fueron ensayadas húmedas y que en la mayoría de los casos fallaron los bloques y no las juntas, se puede suponer que los resultados podrían ser superiores aun.

El curado bajo arpillera húmeda durante una semana (B), también produjo excelentes resultados, aunque inferiores a los obtenidos con el procedimiento (D). Su interés radica en que podría ser aplicado en las obras, en donde, por medio de cortinas que envuelvan a los muros, sería posible mantener la humedad necesaria sin humedecer los bloques, evitando de esta manera los posibles agrietamientos por retracción.

El curado por mojado del mortero dos veces al día, durante una semana, (C), produjo un incremento de adherencia de 35% en relación a las probetas de referencia, que se mantuvieron al aire, en comparación con 230% de aumento que dio el curado en cámara húmeda y con 135% que correspondió al curado bajo arpillera. Estas cifras muestran la gran influencia de un curado adecuado en la adherencia y por lo tanto en la obtención de albañilerías de buena calidad.

#### Otras propiedades de los morteros

**Retención de agua.** De todos los morteros ensayados, solamente el 1:2:6 sobrepasó el mínimo exigido por ASTM. (Aunque en nuestro caso se determinó con fluidez inicial 140%, que fue la usada en la investigación, mientras que la norma específica 110%).

El reemplazo de cemento por cal aumenta la retentividad. Así, comparando los morteros 1:0:3 y 1:2:9, la retentividad aumenta de 32 a 54%; pero este aumento se obtiene disminuyendo la resistencia a la compresión del mortero de 87 a 16 kg/cm<sup>2</sup>, y la adherencia de 3,9 a 1,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Hay que mencionar que, según algunos autores<sup>23</sup>, en la retentividad de agua es más importante la calidad de la cal que su proporción. Es posible que esto haya influido en la baja retención de los morteros con cal, en particular porque sus finuras Blaine (cal hidráulica = 16.355 cm<sup>2</sup>/g, cal hidratada = 10.086 cm<sup>2</sup>/g) son muy inferiores a las cales hidratadas norteamericanas. Datos de Boynton<sup>24</sup> indican que la superficie específica Blaine media para las cales hidratadas es superior a 30.000 cm<sup>2</sup>/g.

Si en vez de utilizar la cal como reemplazo la empleamos como adición, la retentividad mejora al aumentar la dosis de cal. Comparando, por ejemplo, los morteros 1:0:6, 1:1:6 y 1:2:6, la retentividad aumenta de 23% a 44% y a 83%, aumentando la resistencia mecánica del mortero de 13 a 27 y a 35 kg/cm<sup>2</sup>, con cierta mejoría de la adherencia de 1,4 a 1,7 y a 1,9 kg/cm<sup>2</sup>.

El cemento Polpaico 400 produjo retenciones de agua superiores a los otros cementos, lo que se explica por su mayor superficie específica. Este fenómeno se aprecia también en las cales, ya que la más fina produjo mayor retención.

La granulometría de las arenas y su contenido de partículas finas tiene influencia en la retención de agua, ya que la arena de menor tamaño máximo dio siempre retenciones mayores que las otras dos y entre éstas, la de Lepanto, que es la de mayor módulo de finura, produjo las menores retenciones.

### Retracción de los morteros

Se midió la retracción de trece morteros diferentes, hasta 90 días, observándose, entre otras cosas, el efecto del tipo de cemento. Así, al reemplazar el cemento Polpaico Especial por Polpaico 400 o Super Melón, los aumentos de retracción fueron de 24% y 31% respectivamente. Estimamos que este aumento no justifica a priori la afirmación común de que los cementos de alta resistencia no deben usarse en albañilerías por temor de que con ellos se agrietarían los muros. Hay que tener en cuenta que con tales cementos e igual dosis (1:0:3) la adherencia aumentó en 72% y 81%, y que con menor dosis (1:0:4) la adherencia con Super Melón continuó siendo mayor (en un 50%) que con 1:0:3 de Polpaico Especial, debiendo considerarse que la retracción disminuye al aumentar la dosis de cemento.

En cuanto a las arenas, la de Lepanto bajo malla 4 dio un 20% menos de retracción que Arrip bajo malla 8, lo que muestra la importancia de la granulometría de la arena en la retracción del mortero.

Los morteros 1:4 aglomerante/arena presentan sólo un 10% menos de retracción que el 1:3.

La sustitución de parte del cemento por cal hace disminuir la retracción, pero en muy pequeña proporción, por lo que ocupar morteros de cemento y cal para disminuir los riesgos de retracción no es una buena solución.

### CONCLUSIONES

1. El reemplazo de parte del cemento por cal produce disminución de adherencia, que es considerable para reemplazos mayores de 1/4 en volumen.
2. Para una misma fluidez, la adherencia y la resistencia a la compresión están relacionadas directamente y son crecientes al aumentar la dosis de cemento hasta 1:0:3 en volúmenes sueltos ( $360 \text{ kg/m}^3$ ).
3. Con morteros de fluidez 140% ASTM (consistencia pastosa), se logra mayor adherencia que con 150% (consistencias fluida y seca), a pesar de que con esta última se obtiene, como era de esperar, mayor resistencia a la compresión del mortero.
4. Al utilizar en los morteros arenas de tamaño máximo 4,76 mm (N° 4 ASTM) se consiguió mayor adherencia que con arenas de 2,38 mm (N° 8 ASTM).
5. En la adherencia influyen significativamente las características de la arena. Bajo el mismo tamaño máximo, la de Arrip da adherencias inferiores a la de Lepanto, que es de granulometría más gruesa y tiene mayor porcentaje de finos bajo malla N° 200 ASTM; esta arena es preferida por los albañiles de Santiago.
6. El estado de humedad de los bloques en el momento de colocarlos influye en la adherencia. La mayor adherencia se obtuvo para contenidos de humedad entre 23 y 50  $1/\text{m}^3$ , correspondiendo el primero al equilibrio con el ambiente del laboratorio (contenido de humedad del orden de 1/10 de la saturación del bloque); los bloques totalmente secos dieron adherencias algo

inferiores, y los bloques saturados mucho menor adherencia.

7. El curado húmedo de las juntas beneficia extraordinariamente a la adherencia, que puede llegar a hacerse 3 o 4 veces mayor. De todas las condiciones analizadas esta es, con mucho, la más importante.
8. El máximo valor de adherencia obtenido, que fue de  $12,5 \text{ kg/cm}^2$ , todavía puede superarse ya que en él no se incluyeron simultáneamente todas las condiciones favorables analizadas.

### AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro reconocimiento al ingeniero Ernesto Gómez por su abnegada y valiosa participación en la redacción de este artículo, y por el apoyo que, como Director de IDIEM, concedió a los autores durante la realización del trabajo.

Nos complace expresar nuestro agradecimiento, por la eficiente colaboración en la ejecución de las experiencias, al personal de las Secciones de Aglomerantes, Aceros e Investigación de Hormigones del IDIEM.

Así mismo, agradecemos a las empresas Ingeniería e Industrias, Soprocál Calerías e Industrias, Fábrica de Cemento Cerro Blanco de Polpaico y Empresa Minera Arrip, que proporcionaron los materiales para la confección de las probetas.

### REFERENCIAS

1. COPELAND, R.E. y SAXER, E.L. Test of structural bond of masonry mortars to concrete block. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 61, n° 11 (noviembre 1964), pp. 1411-1452.
2. FISHBURN, C.C. Effect of mortar properties on strength of masonry. *National Bureau of Standards. Monograph 36*. (noviembre 1961).
3. WILLIAMS, H.A. y BENJAMIN, J.R. *Investigation of shear walls. Part 4 Experimental mathematical studies of the behavior of brick walled bents under static shear loading*. Stanford University. Dept. of Civil Engineering (agosto 1953).
4. PEARSON, J.C. Measurements of bond between bricks and mortars. *Proceeding of ASTM*, vol. 43, pp. 857-866.
5. BUILDING RESEARCH STATION. *Strength and stability of walls*. Building Research Station. Digest n° 75.
6. FORKNER, H.R.; HAGERMAN, R.S.; DEAR, P.S., y WHITTEMORE, J.W. Mortar bond characteristics of various brick. Bulletin of the Virginia Polytechnic Institute. *Engineering Experiment Station Series*, n° 70, vol. XLII, n° 1 (noviembre 1948). Citado por Williams y Benjamin (Referencia 3).
7. LAMANA, A.; DELFIN, F., y BULLEMORE, M. Estudio experimental de la adherencia entre mortero y bloques de hormigón. *Revista del IDIEM*, vol. 9, n° 1 (marzo 1970), pp. 29-48.
8. PORRERO, J. Cales hidráulicas con componentes puzolánicos. *Revista del IDIEM*, vol. 4, n° 3 (diciembre 1965), pp. 159-168.

9. BONHOMME, F.; DEVITTS, C., y JORQUERA, L. La cal hidráulica en los morteros para albañilerías. *Centro de la Vivienda y Construcción, Universidad de Chile*. Informe n° 23 (1966).
10. HALLER, P. *Physic des Backsteins*. Zurich 1946. Citado por Saretok en RILEM Bulletin n° 38 y n° 39.
11. MEYER, E.V. Overflatebehandling av Betong og Lettbetong. *Bettongen i dag* 14. (1941). Citado por Saretok.
12. NYCANDER, S. y BAHNER, V. *Modern Putsteknik*. (Malmo 1953). Citado por Saretok.
13. FERET, MM.L. y CAEN, F. La resistance mécanique des maçonneries. *Comptes Rendues des Recherches effectuées en 1947*. Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.
14. DAVISON, J.I. Loss of moisture from fresh mortars to bricks. *Materials Research and Standards*, vol. 1, n° 5 (mayo 1961), pp. 385-388.
15. LAMANA, A. Fallas de juntas de hormigonado y de anclajes y empalmes de armaduras en los terremotos de Chile de 1958 y 1960. *Primeras Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, vol. 1, Santiago, Chile.
16. COMITE TECHNIQUE SUPERIEUR DE LA MAÇONNERIE, CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION. Blocks de beton manufacturé. *Annales de l' Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 185, (mayo 1963), pp. 496-509
17. CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION. *Building with concrete blocks*. Advisory note n° 7.
18. DAVIS, R.E. Report of masonry test. *1929 Series, Clay Products Institute*.
19. KUENNING, W.H. Improved method of testing tensile bond strength of masonry mortars. *Journal of Materials*, vol. 1, n° 1, (marzo 1966), pp. 180-202.
20. SEAMANN, J. Investigation of the structural properties of concrete masonry. *National Concrete Masonry Association*. (1955).
21. 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.
22. MONGE, J.; ROSEMBERG, L.; VIVES, A., y YOMA, F. *Sismo del 28 de marzo de 1965. Informe sobre los daños a estructuras*. Laboratorio de Estructuras. Universidad de Chile.
23. LANSING, S.W.; DAVID, L.B., y DAVID, W. Differences in lime as reflected in certain properties of masonry mortars. *National Bureau of Standards RP952. Journal of Research*, vol. 17 (1936).
24. BOYNTON, R.S. *Chemistry and technology of lime and limestone*. John Wiley and sons (1966).

#### FACTORS DETERMINING BOND BETWEEN MORTAR AND CONCRETE BLOCKS

##### SUMMARY:

*The results of an experimental research on bond between mortar and concrete blocks made on laboratory specimens are presented. The influence of mortar proportions, type of cement, sand characteristics, lime substitution for cement, water content of blocks, curing procedure of specimens and some other conditions are studied. The results are discussed and some recommendations are made on how to get best results. Most important among the parameters that were included in this study are the maximum size and grading of sand, moisture content of blocks and curing procedure of mortar joints.*