



XXXIII JORNADAS SUDAMERICANAS  
DE INGENIERIA ESTRUCTURAL  
Santiago, 26 al 30 de Mayo de 2008



[www.asaee.org.br](http://www.asaee.org.br)

## ESTUDIO SOBRE LA RESISTENCIA DE ADHERENCIA DE LA ALBAÑILERÍA EN CHILE

### STUDY ON BOND STRENGTH OF MASONRY IN CHILE

M. Astroza I. (1); M. Muñoz (2)

(1) Profesor, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

(2) Ingeniero Civil, Universidad de Chile

Email: [mastroza@ing.uchile.cl](mailto:mastroza@ing.uchile.cl)

#### Resumen

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de una recopilación de doce estudios experimentales realizados en los últimos 37 años en Chile sobre la resistencia de adherencia de albañilerías construidas con morteros de cemento. En el estudio se pudo comprobar que sólo se cuenta con una cantidad de información suficiente para una albañilería construida con ladrillos cerámicos hechos a máquina y que en este caso los requisitos que establecen las normas chilenas tanto a las unidades como a los morteros son necesarios pero no suficientes para lograr una buena adherencia, debiéndose incluir requisitos adicionales que controlen las relaciones (*cemento+cal*)/*arena* y *cal/cemento* en la dosificación del mortero, de modo que sus valores sean entre 0.3 y 0.4 y del orden de 0.25 respectivamente.

*Palabra-clave: Albañilería, Morteros, Unidades de albañilería, Resistencia de Adherencia, Normas.*

#### Abstract

The results of the analysis of twelve Chilean experimental studies made in the last 37 years about the bond strength of masonry are presented. From this analysis it was possible to verify that the available information is only sufficient for clay masonry units made in manufacturing plants and that the requirements established by the masonry unit and the mortar Chilean code are necessary but non sufficient in order to obtain a high bond strength. In this way, it is necessary to include additional requirements that control the relations (*cement + lime*)/*sand* and *lime/cement* in the mortar proportions, between 0.3 and 0.4 and 0.25 respectively.

*Key words: Masonry, Mortars, Masonry Units, Bond Strength, Codes.*

## 1 INTRODUCCION

Los informes de los daños observados en las construcciones de albañilería durante los sismos que han afectado a los países sísmicos de Latinoamérica en los últimos 100 años, destacan la necesidad de mejorar la calidad de los materiales usados en la construcción de los edificios de albañilería, y en particular de los morteros para lograr una buena adherencia. Un ejemplo, es el informe del terremoto del 6 de Agosto de 1906 [1] donde se indica que la mala calidad de los ladrillos chilenos y de los morteros fabricados con cal y arena fueron factores determinantes en los daños observados en los edificios de albañilería ubicados en la ciudad de Valparaíso.

Han pasado 100 años y los daños observados en los sismos ocurridos los últimos treinta años permiten señalar que el uso de morteros de cemento o de morteros mixtos de cemento y cal no ha logrado superar la situación, aún cuando se cuenta con normas que establecen los requisitos que deben cumplir las unidades y los morteros de albañilería y con un número no despreciable de resultados de estudios experimentales sobre la adherencia mortero-unidad.

Las razones que explicarían esta situación son muchas y de distinta índole, entre otras se han destacado las siguientes: (a) las propiedades de la albañilería son más variables y por lo mismo más difíciles de predecir que las de otros materiales de construcción, (b) el poco control que se hace de las propiedades de los materiales y de los procedimientos de construcción, (c) la falta de preparación de los profesionales y obreros que participan en la construcción de viviendas de albañilería, especialmente en lo relacionado con los materiales que se utilizan y su impacto en la calidad del producto resultante, y (d) la falta de difusión de los resultados experimentales.

Con el propósito de contribuir a mejorar la situación destacada, en este trabajo se entregan algunas de las conclusiones que se obtuvieron al analizar los resultados de 12 estudios experimentales realizados en Chile desde la década de los sesentas y que entregan información relacionada con la adherencia de una albañilería construida con unidades cerámicas o bloques de hormigón y morteros de cemento, cal y arena.

El análisis de la información se hizo con el propósito de comprobar si los requisitos que establecen las normas chilenas son suficientes para lograr una buena resistencia de adherencia y de ser necesario, indicar los requisitos que deben agregarse.

## 2 MATERIALES

Las propiedades físicas y mecánicas de la albañilería dependen de las propiedades de las unidades y de los morteros que se utilicen en su fabricación, y por lo tanto es necesario conocer sus valores ya que con ello se delimita el alcance de la información experimental disponible.

### 2.1 Unidad

El componente básico en la construcción de la albañilería es la *unidad*, la que por su origen puede ser natural o artificial. Entre las unidades artificiales existe una gran variedad, las que se diferencian por la materia prima y los procedimientos utilizados en su fabricación y por sus características geométricas. Entre los procedimientos de fabricación se destacan antiguos procedimientos artesanales y modernos procesos industriales.

Con el propósito de tener información de las propiedades de las unidades usadas en los estudios reunidos, en la tabla 1 se entrega el rango de valores de algunas de ellas, comprobándose que existen variaciones importantes en los valores y en el caso particular de las unidades cerámicas de fabricación artesanal, muchas veces sus propiedades no cumplen con los requisitos que establecía la norma chilena [2].

TABLA 1 - Propiedades de las unidades utilizadas en los estudios

Material	Resistencia a compresión, $f_p$ (MPa) <sup>(2)</sup>	Absorción <sup>(1)</sup>	Tasa de absorción, (gr/cm <sup>2</sup> /min)
Ladrillo cerámico industrial	10.2 – 16.5	9 – 13,5%	0.200 – 0.455
Ladrillo cerámico Artesanal	1.2 – 3.9	~ 33%	0.84
Bloque de Hormigón Pesado	6.9 – 7.7	96 - 198	S.I. <sup>(3)</sup>

(1): Para bloques en lt/m<sup>3</sup>, (2) Medida sobre el área bruta de la unidad, (3) S.I.: Sin información.

## 2.2 Morteros

La construcción tradicional de albañilería utiliza unidades asentadas con mortero. El mortero cumple varias funciones y una de las principales es unir o adherir las unidades de modo de formar un conjunto durable, impermeable y con alguna resistencia. Los morteros son mezclas plásticas aglomerantes que se han obtenido a través de los tiempos mezclando distintos materiales, ejemplo de ello son los morteros de barro usados en Latinoamérica en la época prehispánica y los morteros de capa delgada actualmente en uso.

Los morteros usados en los estudios reunidos son el producto de mezclar arena, agua, cemento y cal. Las propiedades de estos morteros de cemento son variables y dependen principalmente de la dosificación de sus componentes, en especial de la relación arena/cementante. En particular, los morteros de cemento sin cal son de fraguado rápido, lo cual limita el tiempo de uso de una mezcla de este tipo después de fabricada; además estos morteros son menos trabajables y su retención de agua es menor que los morteros que usan *adicionalmente* cal.

Las normas de morteros establecen requisitos para obtener una mezcla *en estado fresco* que resulte trabajable, de fraguado lento y con una buena retención de agua, lo que permite preparar una cantidad de mezcla para una jornada de trabajo razonable con la capacidad necesaria para evitar que las unidades absorban el agua requerida para su fraguado y para desarrollar una buena adherencia. Entre estos requisitos, algunas normas extranjeras de mortero para albañilería recomiendan controlar la relación arena a cementante (cemento más cal) entre 2.25 y 3 para obtener mezclas de buena adherencia y baja contracción.

A modo de ejemplo, en la tabla 2 se indican los proporcionamientos recomendados para los morteros que se emplean en la construcción de elementos estructurales y las resistencias mínimas que deben tener según la norma mexicana [3]. En el caso de las normas chilenas [4], [5], [6], no se indican estos proporcionamientos, lo que puede ser un déficit si no se controla directamente las propiedades que dependen de este proporcionamiento, por ejemplo la resistencia de adherencia.

TABLA 2 - Proporcionamientos recomendados para mortero usado en elementos estructurales [3].

Tipo de mortero	Partes de cemento	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal	Partes de arena en estado suelto	Resistencia en compresión, kgf/cm <sup>2</sup>
I	1	0	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	125
	1	0 a ½	0		75
II	1	0	¼ a ½		40
III	1	½ a 1	0		
	1	0	½ a ¼		

Para analizar las consecuencias de este déficit y reconociendo que la norma NCh2256/1 [4] reconoce que la adherencia depende de la dosificación, en este trabajo se analizan los resultados de los estudios experimentales para proponer valores de la relación  $(\text{cemento} + \text{cal})/\text{arena}$  y de la relación  $\text{cal}/\text{cemento}$  de modo de obtener una mezcla que permita obtener una buena adherencia con los materiales disponibles localmente.

En los estudios revisados se han utilizados diferentes dosificaciones de los morteros y ellas corresponden a las usadas habitualmente en las construcciones de albañilería hechas en Chile. En la tabla 3 se indican los valores de algunas de las propiedades de los morteros usados en la construcción de las tripletas de unidades cerámicas hechas a máquina y en las probetas construidas con bloques de hormigón, más detalle de esta información se puede encontrar en la memoria de título de Mauricio Muñoz [7].

**TABLA 3 - Propiedades de los morteros utilizados**

<b>Razón (C+K)/A</b>	<b>Razón C/A</b>	<b>Razón K/C</b>	<b>Fluidez [%]</b>	<b>Retentividad [%]</b>	<b>Resistencia a la compresión, MPa</b>
≤ 0.5	0.10 ÷ 0.50	0 ÷ 2.0	100 ÷ 150	≤ 85	≤ 23.0

C= Dosificación de Cemento en volumen, K= Dosificación de Cal en volumen y A= Dosificación de Arena en volumen

### 3 ADHERENCIA

Según Gallegos [8], diferentes investigaciones han demostrado que la adherencia entre el mortero y las unidades de albañilería es de naturaleza mecánica producto de la trabazón que se produce cuando cristaliza la lechada que penetra por los poros capilares de la unidad. De este modo, el uso de altas proporciones de arena reduce la adherencia al disminuir la concentración de cementante.

Durante el proceso de construcción se incorporan otra serie de factores que afectan la adherencia, entre ellos se pueden destacar el tiempo que demora la colocación de la unidad, la presión que se ejerza en la asentado de la unidad y el tipo de curado o protección que se haga de los muros. De este modo se pueden reconocer múltiples factores de los que depende la adherencia [8], [9], [10] y muchos de ellos se han considerado en los estudios reunidos para realizar este trabajo [7].

La información experimental disponible localmente se caracteriza por usar tres ensayos para medir la resistencia de adherencia, diferenciándose ellos por la probeta ensayada y por el estado de tensiones que se produce, tensiones tangenciales en el ensayo de tripletas al cizalle y tensiones perpendiculares al plano de junta en el ensayo de tracción directa, ASTM C952, y en el ensayo de tracción por flexión, ASTM C-1072. Los ensayos se han realizado usando sólo tres tipos de unidades: ladrillos cerámicos hechos a máquina y a mano y bloques de hormigón. El número de observaciones disponible para cada tipo de unidad y de ensayo se indican en la tabla 4; cada observación corresponde al valor promedio de un cierto número de probetas compañeras ensayadas.

**TABLA 4 - Observaciones disponibles**

<b>Tipo Unidad</b>	<b>Ensayo de Cizalle</b>	<b>Ensayo de tracción por flexión</b>	<b>Ensayo de tracción directa</b>
Cerámica Artesanal	34	0	17
Cerámica hecha a máquina	66	0	48
Bloque de hormigón	0	88	1
<b>Total</b>	100	88	66

Los estudios experimentales se han realizado con el objetivo de analizar los efectos de diferentes factores en la resistencia de adherencia, entre los que destacan los siguientes: (a) *unidades* – resistencia, absorción y succión, (b) *mortero* – relación (cemento+cal)/arena, relación cal/cemento, módulo finura arena, fluidez, finura de la cal, retentividad y contenido de aire, y (c) *construcción probetas* – tiempo de interrupción y humectación de la unidad. Muchas veces, el

número reducido de observaciones no permitió hacer un análisis estadístico de algunos de los factores destacados.

Considerando las 165 observaciones reunidas para las unidades cerámicas y sin hacer más distinción que el tipo de unidad, en el gráfico de cajas de la figura 1 se observa que la resistencia de adherencia es mayor en las unidades hechas a máquina que en las unidades hechas a mano, lo cual es el resultado de la diferencia que existe entre las propiedades de estos dos tipos de unidades. Además se observa una dispersión alta de los valores de la resistencia de adherencia para ambas unidades cerámicas.

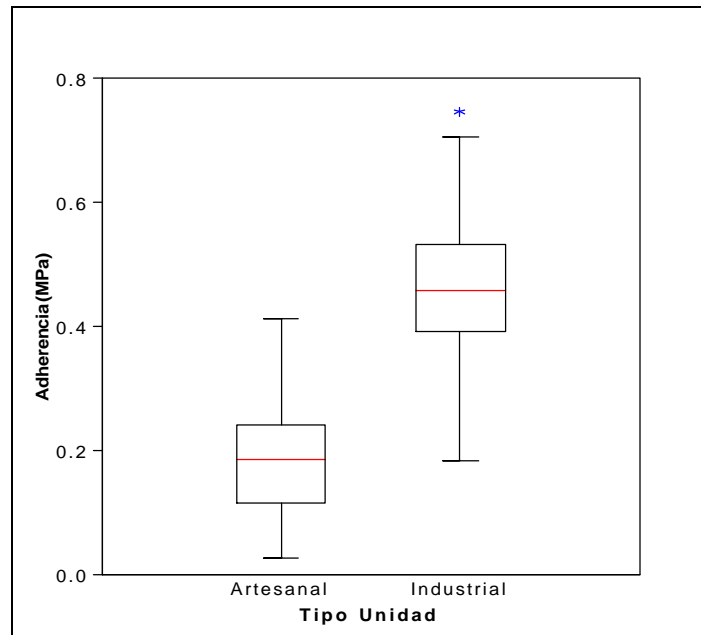


Figura 1 – Resistencia de adherencia al cizalle para unidades cerámicas [7]

#### 4 RESISTENCIA DE ADHERENCIA DE UNA ALBAÑILERÍA CONSTRUIDA CON UNIDADES CERÁMICAS HECHAS A MAQUINA

La información reunida sólo permite analizar la resistencia de adherencia obtenida del ensayo de tripletas construidas con unidades cerámicas hechas a máquina en el marco de los requisitos que establecen las normas de unidades y de mortero de junta.

##### 4.1 Efecto conjunto de la retentividad del mortero y de la absorción de las unidades

En la figura 2 se comprueba que cuando la retentividad del mortero es del orden de un 70%, la absorción de la unidad es menos determinante si se desean valores de la resistencia de adherencia entre 0,35 MPa y 0.5 MPa. En cambio, si se desea una resistencia de adherencia mayor que 0,5 MPa, es recomendable que la absorción de las unidades no sea mayor que un 10%.

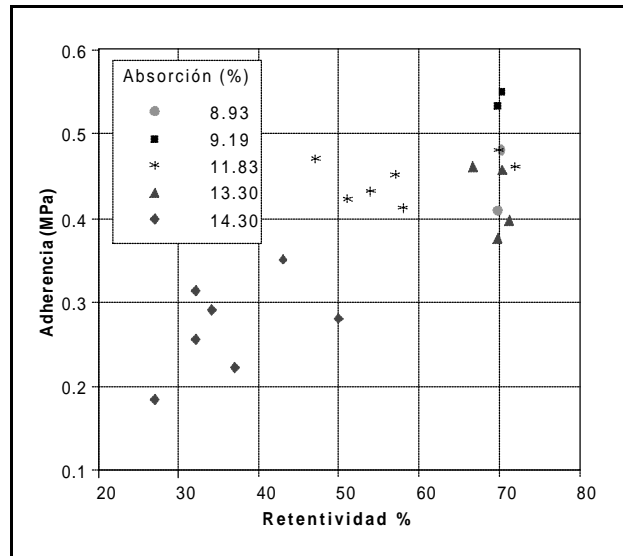


Figura 2 – Efecto conjunto de la retentividad del mortero y de la absorción de la unidad en la resistencia de adherencia.

#### 4.2 Efecto de la relación aglomerante/arena

Controlada la retentividad del mortero en un 70% como mínimo, en la figura 3 se observa que para lograr una resistencia de adherencia alta la relación entre la suma de los volúmenes de cemento y cal y el volumen de arena,  $(C+K)/A$ , debe estar en el rango 0.3-0.4. Este resultado confirma la necesidad de controlar esta relación como lo hacen algunas normas de mortero, por ejemplo la norma ASTM C 270.

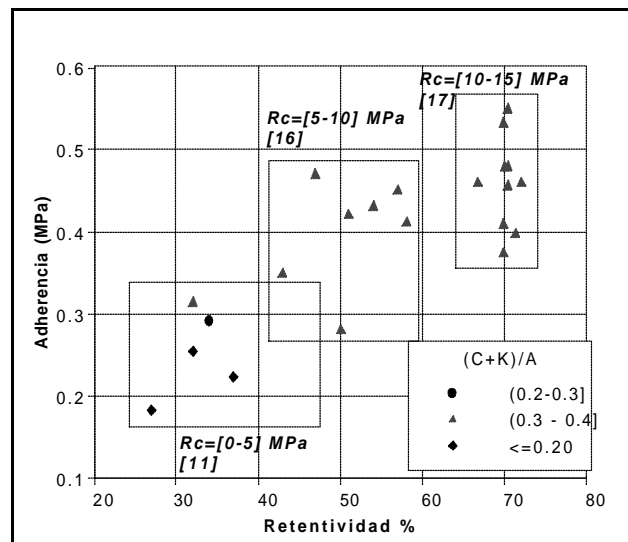


Figura 3 – Efecto de la relación aglomerante/arena en la resistencia de adherencia.

Para tener una idea de cual debe ser la cantidad de cal hidráulica que es recomendable usar en la fracción considerada como aglomerante en la dosificación del mortero, en la figura 4 se observa que para maximizar la resistencia de adherencia en los morteros en los que la retentividad es del orden de un 70%, la relación entre el volumen de cal y de cemento debe ser del orden de 0.25. En esta figura se puede apreciar que los datos de morteros fabricados con cales hidratadas son escasos en Chile, y que predominan los datos de dosificaciones de morteros con cal hidráulica o sin cal. Es importante destacar que para una relación entre el volumen de cal hidratada y de cemento

igual a 0.5, se obtiene una resistencia de adherencia por sobre 0.4 MPa, este resultado confirma la ventaja de usar cal hidratada en la fabricación de los morteros para los efectos de lograr una buena resistencia de adherencia.

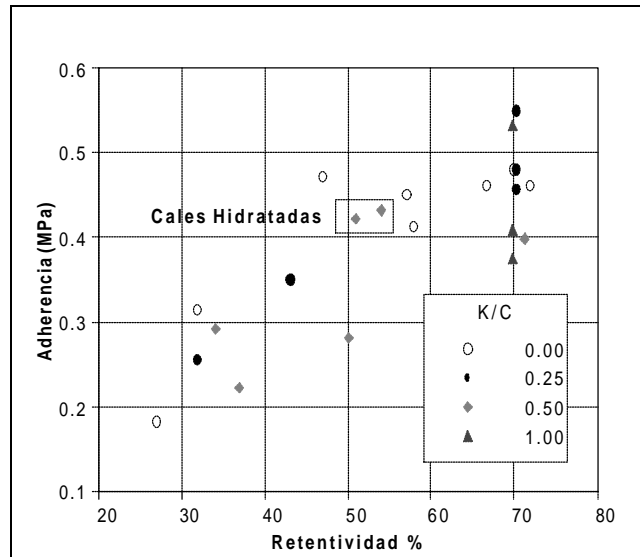


Figura 4 – Relación cal hidráulica/cemento recomendable

#### 4.3 Efecto de la granulometría de la arena

En la figura 5 se observa que los morteros fabricados con arenas que tienen un mayor porcentaje de granos que pasa por el tamiz # 50 tienen una mayor retentividad y una mayor resistencia de adherencia al cizalle. Confirmandose la necesidad de controlar la granulometría de la arena que se utiliza en la confección del mortero de junta si se desea obtener una buena adherencia.

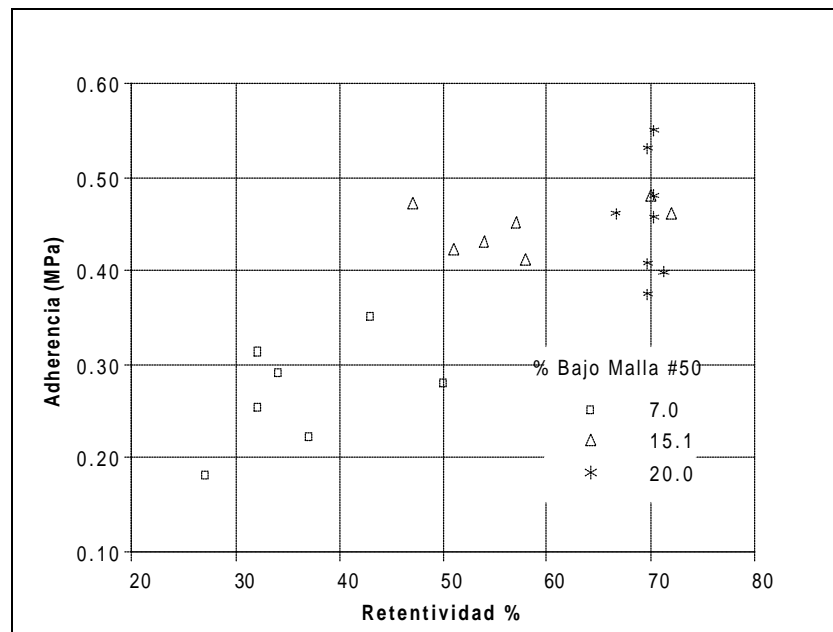


Figura 5 – Efecto de la granulometría de la arena en la resistencia de adherencia

## 5 RECOMENDACIONES PARA LOGRAR UNA BUENA ADHERENCIA

A la luz de la información reunida, se puede concluir que para lograr una resistencia de adherencia alta en una albañilería construida con unidades cerámicas hechas a máquina es necesario controlar en el mortero la retentividad ( $\approx 70\%$ ), la relación entre la suma de los volúmenes de cemento y cal y el volumen de arena (entre 0.3-0.4) y la relación entre el volumen de cal hidráulica y el volumen de cemento ( $\approx 0.25$ ). Además debe tenerse en cuenta que mientras la relación (cal + cemento)/arena se ubique en el rango 0.3 a 0.4 cualquier requisito relacionado con una resistencia a la compresión del mortero mayor que 10 MPa se satisface.

Lo destacado en el párrafo anterior confirma la necesidad de incluir en las normas chilenas un requisito relacionado con el proporcionamiento de los materiales que componen los morteros de cemento, en forma análoga como lo recomiendan algunas normas extranjeras.

Desde el punto de vista de los procedimientos que se utilizan durante la construcción de la albañilería y de acuerdo con los resultados experimentales reunidos, es recomendable realizar un curado de la albañilería por lo menos durante 7 días con algún método que produzca un efecto similar al logrado cuando las probetas se cubren con una arpillera en el laboratorio. Además, es aconsejable ejercer una presión uniforme sobre la unidad al momento de colocarla y cuando la absorción de las unidades cerámica es del orden de un 15%, es recomendable humedecerlas por lo menos unos 30 minutos antes de utilizarlas.

A diferencia de lo que ocurre con las unidades cerámicas hechas a máquina, los resultados disponibles para bloques de hormigón corresponden sólo a dos estudios [12] [13]. Esta situación limita la posibilidad de extender las recomendaciones anteriores a este tipo de unidades. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por San Bartolomé et al. [14], es recomendable usar aditivos en los morteros para mejorar la adherencia en este tipo de unidades y hacer ensayos de muretes sometidos a compresión diagonal para juzgar las bondades de los aditivos que se encuentran en el mercado local. Este último procedimiento también debe aplicarse cuando se utilicen morteros premezclados en seco, especialmente cuando sus componentes no sean los materiales utilizados en los morteros de cemento tradicionales.

En relación con la albañilería construida con unidades cerámicas hechas a mano, la información experimental obtenida en los últimos 15 años es muy escasa y la existente indica que con este tipo de unidades se obtienen bajas resistencia de adherencia. Este resultado es preocupante si se considera que este tipo de unidades aún se continúan utilizando en la construcción de viviendas del tipo unifamiliar tanto en sectores rurales como urbanos de Chile y que la norma NCh169 [15] ha dejado fuera de su alcance a este tipo de unidades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rodríguez A. y C. Gajardo, “La catástrofe del 16 de agosto de 1906 en la República de Chile”, Imprenta Barcelona, Santiago, Chile, 1906, 356 p.
- [2] NCh169.EOf73. Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 1973.
- [3] Gobierno del Distrito Federal, “Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, Anteproyecto del Comité de Normas”, México, D.F., 2002, 47pp.
- [4] NCh2256/1.Of2001, Morteros – Parte 1: Requisitos generales, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2001, 31 pp.
- [5] NCh1928.Of1993 Modificada en 2003, Albañilería Armada – Requisitos para el diseño y cálculo, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2003, 55 pp.
- [6] NCh2123.Of1997 Modificada en 2003, Albañilería Confinada – Requisitos de diseño y cálculo, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2003, 30 pp.
- [7] Muñoz M., “Resistencia de adherencia de la albañilería. Situación en Chile”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2006.
- [8] Gallegos H., “Albañilería Estructural”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 1989, 483 pp.



- [9] Drysdale R.G., A. A. Hamid and L.B. Baker, "Masonry Structures. Behavior and Design", Second Edition, The Masonry Society, Boulder, Colorado, USA, 1999, 888 pp.
- [10] San Bartolomé A. y M. Castro, "Efecto de cinco variables sobre la resistencia de la albañilería", Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 7 pp.
- [11] Muñoz M. y J. Nusser, "Estudio experimental de morteros de albañilería", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1980.
- [12] Delfín F. y M. Bullemore, "Estudio experimental de la adherencia entre morteros y bloques de hormigón", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1968.
- [13] Leiva G., A. Acuña y G. Gonzalez, "Determinación de propiedades estructurales de albañilería de bloques huecos de hormigón", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 1996.
- [14] San Bartolomé A., C. Romero y J.C. Torres, "Mejora de adherencia bloque-mortero", Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 8 pp.
- [15] NCh169.Of2001, Construcción – Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2001, 6 pp.
- [16] Cheuque, V. Fernández, D., "Influencia de la incorporación de cal en las propiedades de mortero de junta". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Santiago de Chile, 2005.
- [17] Fernández, G. A., "Estudio Experimental de la Resistencia al Corte de la Albañilería de Unidades Cerámicas", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1986.