

CI5223 – DISEÑO DE ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL

INTRODUCCIÓN

Primavera 2018



Breve historia de la albañilería

- ❑ La albañilería se empezó a usar espontáneamente para la construcción de **muros bajos de piedra con mortero de barro**.
- ❑ En lugares sin disponibilidad de piedras, se innovó con el uso de **unidades de arcilla**.
- ❑ Ya en el S. IX A.C., los habitantes de Mesopotamia construían palacios de piedra y unidades de arcillas no cocidas.
- ❑ Por medio de incendios involuntarios, los constructores se dieron cuenta de las ventajas de **quemar las unidades de arcilla**, innovando de esa forma en la tecnología de hornos industriales.
- ❑ Los albañiles aprendieron el arte de convertir **la caliza en cal**, y así los morteros en base a cal fueron **reemplazando a los de barro**.

Breve historia de la albañilería

- ❑ En el S. III A.C. los egipcios erigieron sus primeros templos y **pirámides en piedra**. Los romanos fueron los primeros en usar **arcos y domos de albañilería** a gran escala, las que fueron perfeccionadas durante el medioevo europeo para la construcción de **fuertes, castillos e iglesias**, y el medioevo islámico para la construcción de palacios y mezquitas.
- ❑ La culminación de esta etapa se ve reflejada en la **economía del estilo gótico** (el uso mínimo de material), en forma de pilares altos con arcos puntiagudos y arcos abotantes (contrafuertes voladizos). Mientras tanto en Centroamérica y Asia se llevaba a cabo una evolución similar en cuanto a la albañilería de piedra cortada.
- ❑ Durante la revolución industrial de Europa y Norte América se innovó en máquinas para el trabajo de piedras, en los **moldajes para unidades de arcilla** y en el **transporte de estos materiales pesados** a las obras. Se desarrollaron por primera vez **relaciones matemáticas sofisticadas para el análisis de arcos** de albañilería. Se inició el uso masivo del **cemento portland**, permitiendo la construcción de albañilería con una mayor resistencia y durabilidad. En la segunda mitad del siglo XIX, la albañilería empezó a perder su protagonismo por el empuje de **edificios de mayor altura** construidos en acero; los **pesados y gruesos muros de albañilería** no permitían la construcción en altura.

Ejemplos de estructuras Monumentales de albañilería



Pirámides maya (Tikal, S. IV A.C.)



Sacsayhuaman (albañilería de piedra incaica, Cuzco, S. XV)

Ejemplos de estructuras Monumentales de albañilería



La Gran Mezquita de Djenné (Mali)



Ciudad de Shibam (Yemen, S. II A.C.)

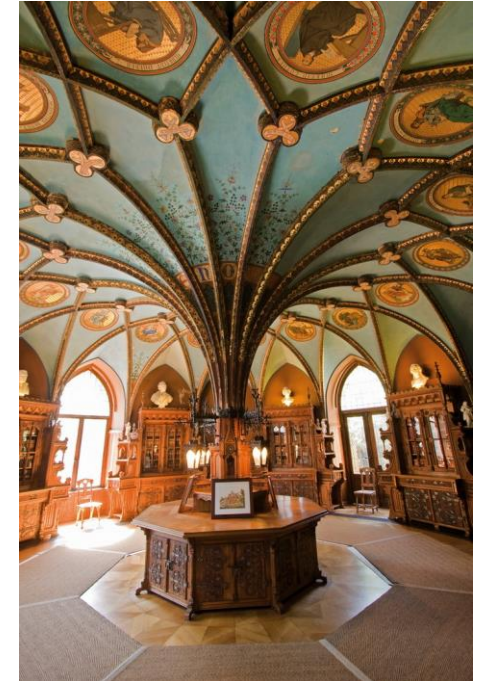
Ejemplos de estructuras Monumentales de albañilería

Marienburg - die Hauptstadt des Deutschen Ordens



Malbork de los Caballeros de la Orden Teutónica (Żuławy, Polonia; S. XIII)

Ejemplos de estructuras Monumentales de albañilería



Malbork de los Caballeros de la Orden Teutónica (Żuławy, Polonia; S. XIII)

Ejemplos de estructuras Monumentales de albañilería



Catedral Metropolitana de San Vitus (Václava a Vojtěcha, Praga; 930 – 1344-~1450)

Ejemplos de estructuras Monumentales de albañilería



Národní divadlo v Praze (Praga, República Checa; 1844-1881)

Ejemplos de estructuras Monumentales de albañilería



La Sagrada Familia (Barcelona)



Monadnock Building , 17 pisos (Chicago)

Alcance del curso

- ❑ Diseño de edificios de albañilería del tipo unifamiliar y multifamiliar de uso habitacional



Albañilería confinada



Albañilería armada

Vivienda Social (≤ 1100 UF)

PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
CI5223	Diseño de Albañilería Estructural			
Nombre en Inglés				
Masonry structures design				
SCT	Unidades Docentes	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de Trabajo Personal
6	10	3	2	5
Requisitos			Carácter del Curso	
CI4201 Hormigón Estructural			Electivo para estudiantes de Ingeniería Civil	
Resultados de Aprendizaje				
Al final del curso el alumno podrá:				
<ul style="list-style-type: none">- Identificar y determinar las propiedades de los materiales componentes y de la albañilería para lograr elementos estructurales (muros) con un buen desempeño ante la acción sísmica.- Usar los métodos que recomiendan las normas chilenas para diseñar y verificar edificios construidos con muros de albañilería armada y confinada.- Seleccionar las técnicas de reparación y refuerzo de muros de albañilería dañados.				
Metodología Docente		Evaluación General		
El curso se desarrollará con clases expositivas las que se complementan con un trabajo personal del alumno. Este trabajo consiste en el desarrollo de un proyecto de un edificio de uso habitacional y lecturas de normas, apuntes y publicaciones relacionadas con las materias del curso. Estas actividades se desarrollan en el horario de docencia auxiliar y en las horas correspondientes al trabajo personal.		La evaluación se realiza a partir de las entregas parciales del avance del proyecto del edificio y de un examen final.		

Unidades Temáticas

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
1	Introducción	1
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
1.1 Características básicas de la albañilería. 1.2 Modalidades de refuerzo. 1.3 Antecedentes históricos	Identificar las características básicas de la albañilería y sus modalidades de refuerzo. Conocer los antecedentes históricos de la albañilería como material de construcción de edificios y uso en Chile.	a. Gallegos- Capitulo 1 y 3 b. Astroza. Capitulo 1.

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
2	Características de los materiales componentes	2.0
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
2.1 Unidades de albañilería. 2.2 Mortero de pega. 2.3 Hormigón de relleno. 2.4 Armaduras de refuerzo	Reconocer las principales propiedades mecánicas y físicas de los materiales componentes de una albañilería, y su influencia en las propiedades mecánicas de la albañilería.	a. Gallegos Cap 4, 5, 6 y 7. b. Astroza, Cap. 2. c. Tomasevic, Cap 3. d. Drysdale et al. Cap. 4.

https://ucampus.uchile.cl/m/fcfm_catalogo/

Unidades Temáticas

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
3	Propiedades de la albañilería	1
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
3.1 Propiedades Mecánicas. 3.2 Índices de resistencia y rigidez.	Determinar las propiedades mecánicas y los índices de resistencia y rigidez de la albañilería requeridos por las normas de diseño.	a. Gallegos Cap. 9 b. Astroza. Cap. 3. c. Tomasevic. Cap. 3

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	Propiedades de la albañilería reforzada	2
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
4.1 Ensayos de muros y otros elementos estructurales. 4.2 Capacidad resistente- Cargas de agrietamiento y Resistencia última. 4.3 Rigidez. 4.4 Capacidad de deformación y de disipación de energía. 4.5 Comportamiento sísmico observado de los edificios de albañilería durante terremotos.	Identificar los tipos de fallas de los muros de albañilería estructural sometidos a: acción sísmica, asentamientos diferenciales y cambios volumétricos. Caracterizar el comportamiento de los muros de albañilería estructural sometidos a cargas laterales según la rigidez, resistencia y la capacidad de deformación y de disipación de energía.	a. Tomasevic. Cap 6 y 7. b. Gallegos Cap. 10 y 11 c. Astroza Cap. 4 y 5

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
5	Diseño de muros de albañilería sin refuerzo, albañilería armada y albañilería confinada.	6
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
5.1 Diseño ante cargas axiales de compresión. 5.2 Diseño a flexión simple y compuesta. 5.3 Diseño al corte. 5.4 Detallamiento de las barras de refuerzos. Empalmes y anclajes. 5.5 Análisis de las disposiciones y limitaciones de diseño de las normas chilenas NCh1928 y NCh2123	Diseñar y verificar muros de albañilería estructural sometidos a acciones perpendiculares a su plano y contenidas en su plano, utilizando las disposiciones y limitaciones de las normas chilenas NCh1928 y NCh2123.	a. Astroza. Cap 6 b. MOP c. San Bartolome y Quiun

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
6	Construcción y control de edificios de albañilería	1,5
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
6.1 Especificaciones técnicas para la construcción de edificios de albañilería. 6.2 Especificaciones para el control de la ejecución de edificios de albañilería. 6.3 Disposiciones de las normas de albañilería.	Establecer los procedimientos que deben utilizarse en la construcción de muros de albañilería bajo condiciones climáticas normales y extremas.	a. Astroza. Cap 7

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
7	Técnicas de reparación y refuerzo de muros de albañilería.	1,5
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
7.1 Introducción. Origen de los daños. Escalas de daños. Medidas a adoptar según el nivel de daño. 7.2 Métodos de reparación y refuerzo.	Seleccionar las técnicas de reparación y de refuerzo de los muros de albañilería con daño de distinto origen.	a. Astroza Cap 8. b. San Bartolome.

Bibliografía General
M. Astroza I, "Diseño de albañilería estructural", Apuntes de I curso CI52H.
H. Gallegos V, "Albañilería Estructural", PUC, Fondo Editorial, Perú, 1991.
A. San Bartolomé, "Reparación y reforzamiento sísmico de la Albañilería Confinada". Editorial Académica Española, 2011.
A. San Bartolome y D. Quiun, "Diseño sísmico de la albañilería confinada", Editorial Académica Española, 2011.
MOP "Manual para la construcción y diseño de edificios de albañilería armada de bloques de cemento y ladrillos cerámicos, 1983.
M. Tomazevic, "Earthquake resistant design of masonry buildings", Imperial Collage Press, London, 1999.
Drysdale, Hamid & Baker, "Masonry Structures: Behavior and Design", The Masonry Society, USA, 1999.

Vigencia desde:	
Elaborado por:	Maximiliano Astroza I.
Revisado por:	

Evaluación del curso

- ☐ La evaluación de los alumnos se realiza mediante un trabajo grupal guiado por el auxiliar y el profesor.
- ☐ El trabajo es el desarrollo de un proyecto de una vivienda de albañilería a partir de su proyecto de arquitectura.
- ☐ Los grupos serán de a lo más 3 integrantes.

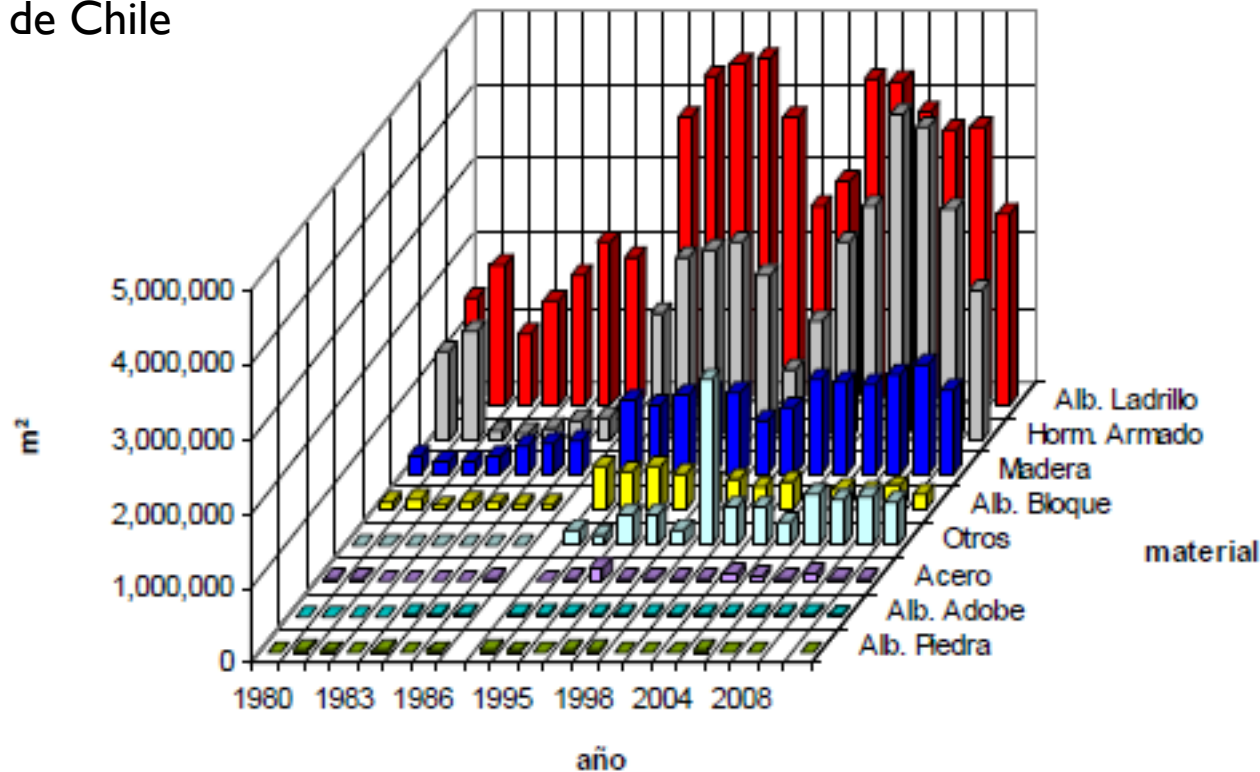
Entrega N°	Fecha	Contenido	Ponderación
I	Prueba I	Bases de cálculo	1/3
II	Prueba II	Modelación y análisis estructural	1/3
III	Prueba III	Diseño estructural	1/3
IV	Examen	Prueba escrita	

Impacto de la albañilería en la construcción de edificios de uso habitacional

- ❑ Desde los albores de la civilización humana, la albañilería se ha utilizado para la construcción de todo tipo de edificios (e.g. viviendas, iglesias) y obras civiles (e.g. puentes, acueductos).
- ❑ Actualmente, la albañilería se utiliza en la construcción de edificios de uso habitacional más que cualquier otro material de construcción en muchas partes del mundo.
- ❑ Las razones para la popularidad de la albañilería son: durabilidad, construcción artesanal, resistente al fuego, estéticamente agradable, y sobre todo, **económica**.

Edificios de Albañilería

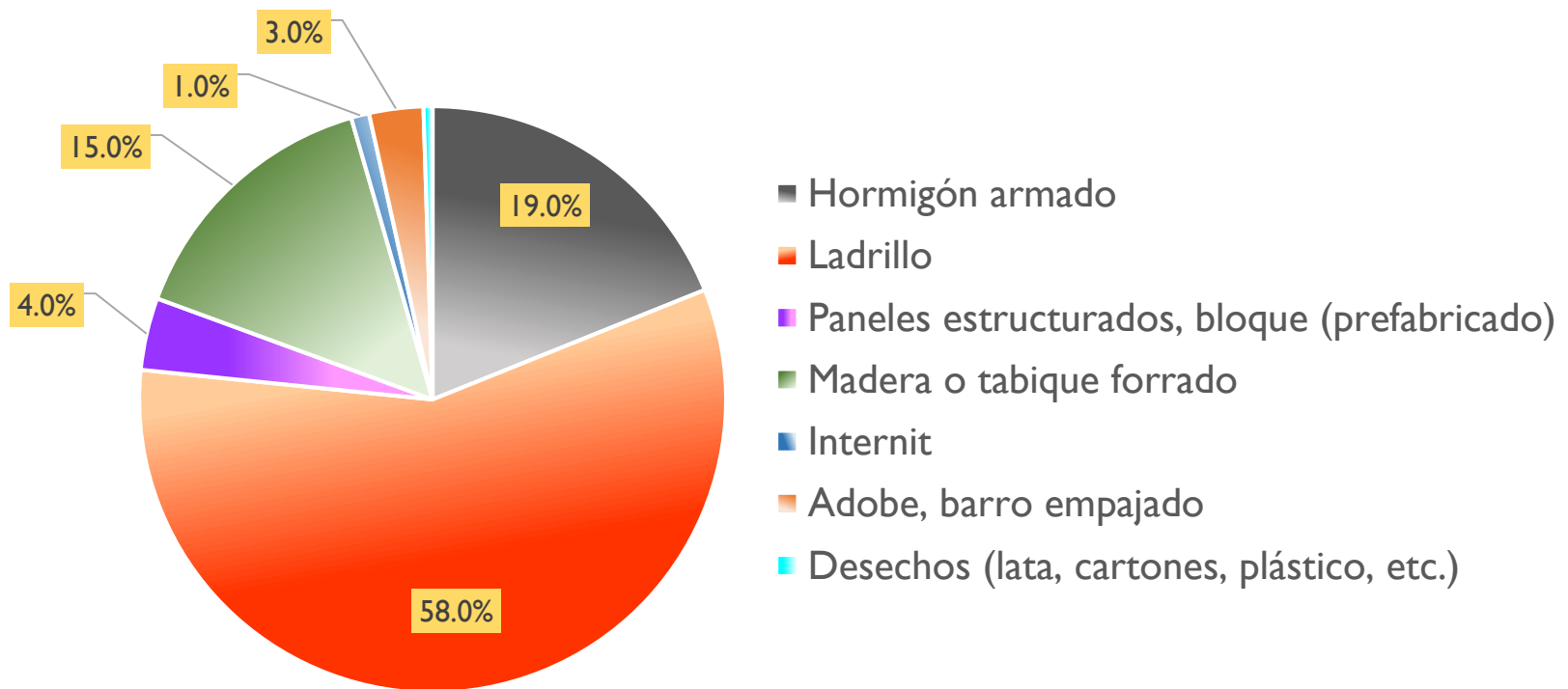
El caso de Chile



Distribución edificación habitacional según material predominante.
Superficie versus año, periodo 1980-2010. (INE, 2010)

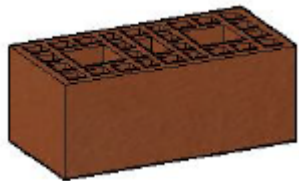
Edificios de Albañilería

□ Distribución de viviendas por material - Región Metropolitana (Censo 2002)



Edificios de Albañilería

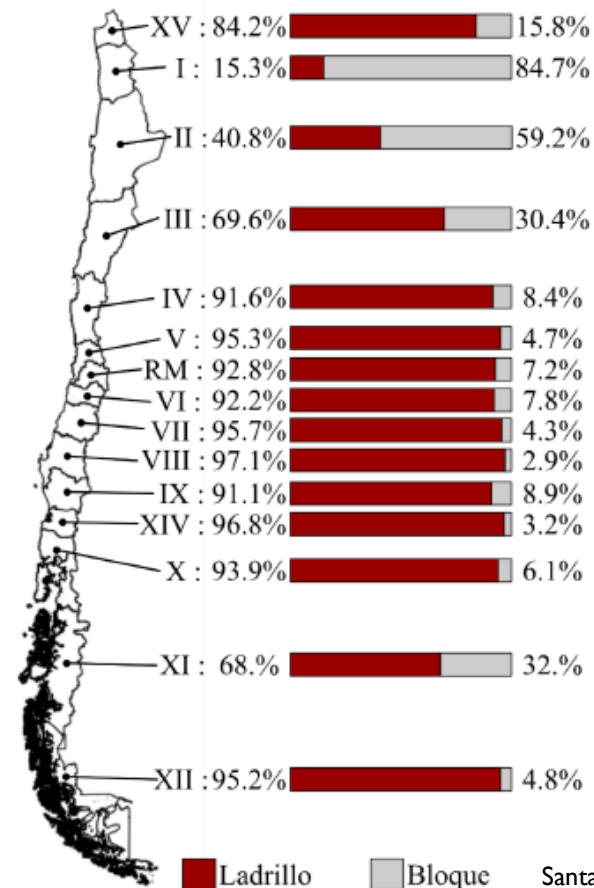
□ Distribución de viviendas en Chile (Censo 2016)



Ladrillo
cerámico



Bloque hueco
de concreto



Ladrillo

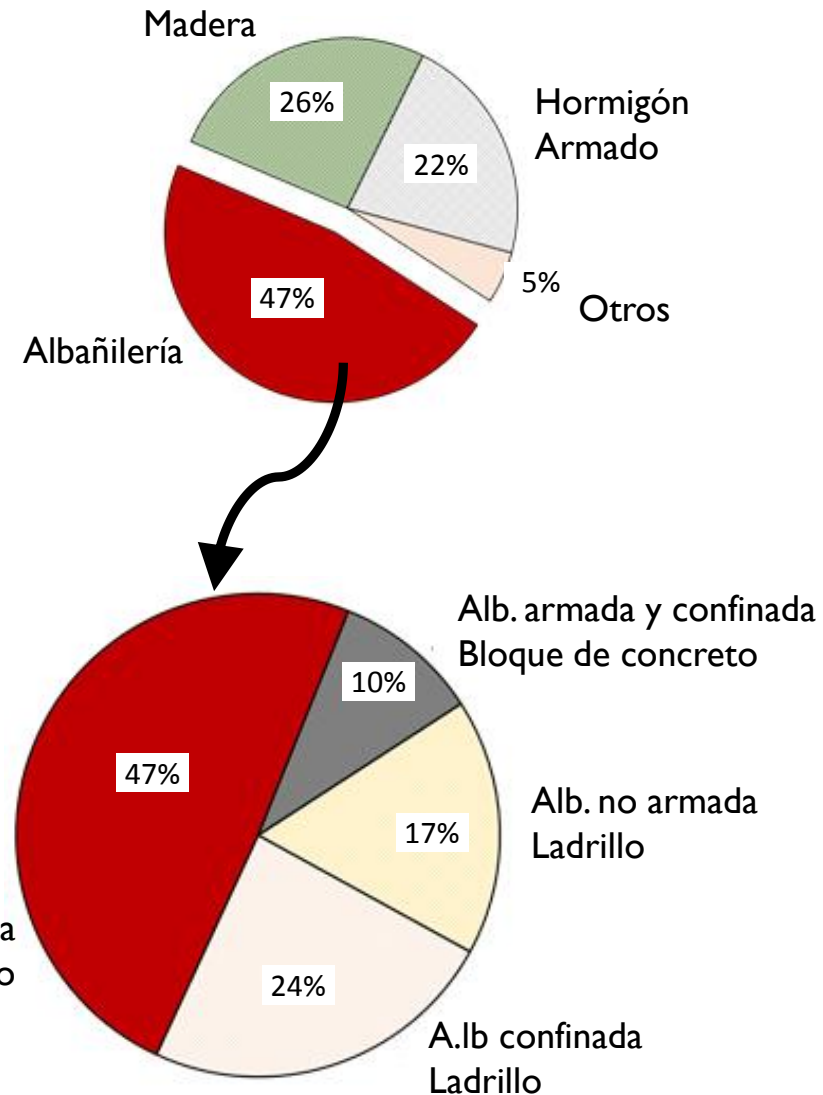
Bloque

Santa María et. al. 2017

Edificios de Albañilería

❑ Distribución de viviendas en Chile (Censo 2016)

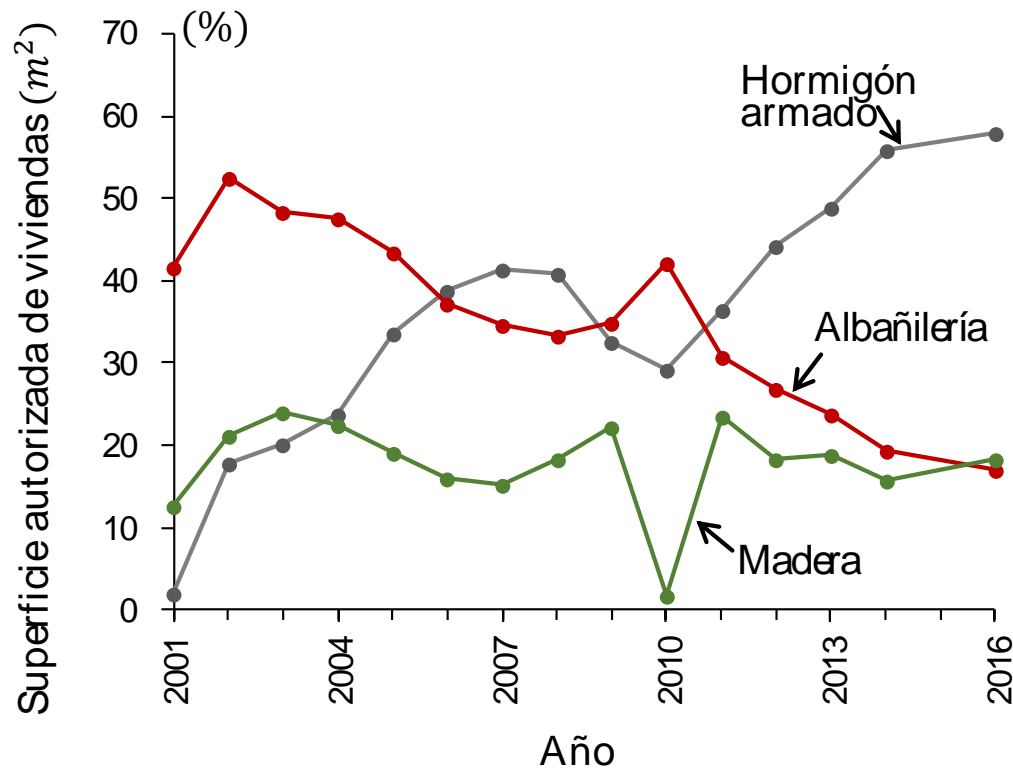
- Gran parte de las viviendas en Chile están construidas de albañilería
- La mayor parte de la albañilería en Chile corresponde a la tipología reforzada.
- El 67% de las viviendas corresponden a viviendas sociales



Santa María et. al. 2017

Edificios de Albañilería

❑ Cada vez se construye menos con el material en el país (INE, 2002-2017)



❑ Se debe considerar el incremento del uso de estructuras con paneles de perfiles delgados formados en frío y otros tipos de paneles prefabricados.

Comparación con otros países

□ INDIA (Censo 2001) [1]

➤ Construcciones de albañilería: **84.7%** de los 249 millones de viviendas

➤ Distribución según tipo de unidad:

1. Adobe: 73.8 millones (29,6%)

2. Piedra: 25.5 millones (10,2 %)

3. Ladrillo: 111.9 millones (**44,9%**)

4. Hormigón: 6.5 millones (2,6%)

Total: **217.7 Millones**

Comparación con otros países

☐ México (Censo 2000) [2]

- 22 millones de unidades residenciales que albergaban a 100 millones de mexicanos.
- 80% de estas unidades estaban construidas con algún tipo de albañilería.
- Un porcentaje importante de las viviendas construidas sin norma de diseño cerca de fuentes sísmicas no han exhibido un comportamiento satisfactorio durante eventos sísmicos severos. Por ejemplo 25353 unidades (18%) de una muestra de 140572 edificaciones se dañaron durante el terremoto de Tecomán de 2003 ($M_W=7.4$).

Comparación con otros países

❑ Mundialmente

- 70% del inventario de edificios es de algún tipo de albañilería. [3]
- La mayor parte de los edificios que han sufrido daño severo en los terremotos son de algún tipo de albañilería que califica como no reforzada.
- Ya que la demolición y el reemplazo de los edificios de albañilería no reforzada es imposible, una de las preguntas que surgen es como mejorar la situación de estos edificios, especialmente los que forman el patrimonio arquitectónico.

¿Que se debe tener presente?

- ❑ Las normas de diseño modernas aceptan que los edificios de uso habitacional sufran daño estructural sin colapsar durante sismos de gran magnitud (Por ejemplo sismos de subducción del tipo interplaca de $M \geq 7.5$) para que sus habitantes puedan evacuar el edificio sin riesgo de sus vidas.
- ❑ Los edificios no deben sufrir daño estructural producto de los movimientos del suelo durante sismos de magnitud moderada (Por ejemplo sismos de subducción del tipo interplaca de $M \leq 6.5$)
- ❑ La respuesta sísmica de un edificio de albañilería no dañado se acepta que es elástico-lineal.
- ❑ La respuesta sísmica de un edificio de albañilería reforzado dañado es no-lineal.
- ❑ La respuesta sísmica de un edificio de albañilería depende de factores como:
 - Las características del sistema estructural (Configuración y Estructuración).
 - Las propiedades dinámicas del edificio
 - El material del cual está construido
 - Los refuerzos y el detallamiento del mismo
 - Las condiciones locales del lugar que se ubica el edificio.

¿Que se debe tener presente?

- ❑ La albañilería es un material que resulta de la **unión de unidades de albañilería** (ladrillo o bloque) con un **material de pega** (mortero) usado en la construcción de los elementos (muros) que forman la estructura de un edificio la cual debe soportar las **acciones externas** (e.g. sismos) con un **nivel de desempeño** que esté de acuerdo con la función que ofrece.
- ❑ Para lograr un **buen desempeño** en las distintas eventualidades que se presentan a lo largo de la vida útil del edificio, se deben controlar cuatro propiedades de los elementos de la estructura: Resistencia, Rigidez, Capacidad de Disipar Energía y Ductilidad de Desplazamiento.
- ❑ El **elemento estructural básico** de un edificio de albañilería es el muro en el cual las propiedades destacadas dependen de los **materiales usados** en su construcción (unidades y mortero) y de los **refuerzos** que se incorporen al muro, siendo éstos:
 - Barras de acero distribuidas vertical y horizontalmente en el interior del muro (Albañilería Armada)
 - Elementos de confinamiento que lo enmarcan el paño de albañilería (Albañilería Confinada).

¿Que se debe tener presente?

- ❑ La **resistencia** de un muro de albañilería queda determinada en parte importante por las **propiedades mecánicas** de los materiales usados en su construcción (unidades, mortero, barras de acero) y por la **adherencia** que se logre entre ellos.
- ❑ La **rigidez** de un muro de albañilería queda determinada por las **propiedades geométricas** del muro y por las **propiedades mecánicas** de los materiales usados en su construcción.
- ❑ La resistencia, la capacidad de disipar energía y la ductilidad de desplazamiento de un muro de albañilería dependen de la **cantidad**, de la **ubicación** y del **detallamiento** del refuerzo utilizado.

“Las propiedades de los elementos de un edificio de albañilería son producto de las decisiones que tome su diseñador (Ingeniero estructural) en relación con los materiales que se usarán y la cantidad, ubicación y detallamiento del refuerzo seleccionado”.

Referencias

- [1] Anand S. Arya (2008): “Seismic Assessment of Masonry Building”. Journal of South Asia Disaster Studies, Vol. I, N° I, New Delhi.
- [2] Terán A., D. Arroyo y J. Ruiz (2009): “Diseño por desempeño: ¿El futuro para el diseño de las estructuras de mampostería?”. VI Simposio Nacional Sobre Ingeniería Estructural en la Vivienda. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Guanajuato.
- [3] Matthys, H., Noland, L., (1989): “Proceedings of an international seminar on evaluation, strengthening and retrofitting masonry buildings”. The Masonry Society, Colorado, USA.