

CODE X.X

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS LADRILLOS DE INMUEBLES DE FINALES DEL SIGLO XIX Y PRINCIPIOS DEL SIGLO XX DE ZAMORA (ESPAÑA), INFORMACIÓN PRECISA PARA LA RESTAURACIÓN

**Ramos-Gavilán, Ana Belén¹; Rodríguez-Esteban, María Ascensión²; Antón-Iglesias,
Natividad³, Sáez-Pérez, María Paz⁴; Camino-Olea, Soledad⁵; Caballero, Julen⁶**

1: Departamento de Ingeniería mecánica
Universidad de Salamanca
e-mail: aramos@usal.es,

2: Departamento de Construcción y Agronomía
Universidad de Salamanca
e-mail: mare@usal.es

3: Departamento de Construcción y Agronomía
Universidad de Salamanca
e-mail: nanton@usal.es

4: Departamento de Construcciones Arquitectónicas
Universidad de Granada
e-mail: mpsaez@ugr.es

5: Departamento de Construcciones Arquitectónicas IT y MMC y TE
Universidad de Valladolid
e-mail: mcamino@arq.uva.es

6: Departamento de Construcción y Agronomía
Universidad de Salamanca
e-mail: mare@usal.es

PALABRAS CLAVE: Resistencia a compresión, ladrillo finales s. XIX, restauración y rehabilitación

RESUMEN

La necesidad actual de proteger el patrimonio arquitectónico se extiende también a los edificios latericios construidos en la época decimonónica. Sus fachadas, generalmente ornamentadas mediante las múltiples combinaciones y disposiciones de las piezas de ladrillo, se convirtieron en las auténticas protagonistas de los inmuebles que mostraban las corrientes estilísticas de la época. Su doble función, de cerramiento y de estructura portante, le confiere un importante protagonismo cuando se trabaja en restauración y/o rehabilitación.

Es por ese motivo que las intervenciones previstas que se proyecten sobre ellas requieran de un análisis exhaustivo de las características actuales de los ladrillos, como material constructivo y estructural, con el fin de establecer el papel que estos elementos mantienen en los edificios.

Este estudio analiza el comportamiento mecánico de probetas de material cerámico, extraídas de muestras de ladrillos de fachadas de edificios construidos en torno al cambio del siglo XIX al XX en la provincia de Zamora.

Los resultados de los ensayos de compresión y flexión desarrollados muestran una importante variabilidad entre las probetas de una misma muestra y entre muestras elaboradas en distintas tejas. Los valores mínimos de resistencia obtenidos sobre cada muestra son comparados con los exigidos actualmente en el Código Técnico de la Edificación.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio que nos ocupa gira en torno a las fábricas de ladrillo, entendidas como el sistema constructivo con el que se levantaron las fachadas de un número importante de edificios en Zamora, en torno al cambio del siglo XIX al XX.

Estos edificios, que en su mayoría tienen la necesidad de ser restaurados o rehabilitados, tienen sus fachadas protegidas, siendo preceptivo mantener su construcción. Esto implica mantener íntegramente los muros de ladrillo, haciendo que estas fábricas perduren en el tiempo. En estas intervenciones, el muro existente de las fachadas de ladrillo podría seguir cumpliendo la doble función para la que fue construido: ser el cerramiento del edificio con la calle y ser la estructura portante.

Precisamente, esta última característica, la función resistente, es sobre la que hemos trabajado en esta investigación, ya que puede causar problemas importantes a la hora de intervenir en estos edificios. Aunque a simple vista, la mayoría de las fachadas de ladrillo visto se encuentran en buen estado de conservación, es necesario realizar determinadas comprobaciones en lo que respecta a sus características resistentes a compresión, que evidencien que esos muros de ladrillo están en condiciones de seguir soportando esfuerzos a compresión.

Para llevar a cabo estos estudios, es necesario contar con muestras de ladrillo colocadas en fachadas de edificios construidos en la época decimonónica. De esta manera, se tiene la certeza de trabajar sobre muestras que han estado durante un siglo en condiciones ambientales naturales, expuestos a los cambios climáticos y a esfuerzos resistentes, que han podido modificar sus características primigenias.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, hemos realizado varios ensayos, dirigidos a estimar la resistencia a compresión de varias piezas de ladrillo, así como su caracterización, su composición química y la densidad, para buscar una relación entre estas dos características y su resistencia estructural. De esta manera, con los datos obtenidos, se puede estimar si las piezas de ladrillo construidas hace más de un siglo cumplen o no las prescripciones que establece el Documento Básico SE-F, Materiales, para las piezas de utilizadas en la realización de fábricas, del Código Técnico de la Edificación (CTE) y de las exigencias en el Informe de Evaluación de los Edificios (IEE) en la Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas, de la Ley 8/2013 LRRRU.

Para la realización de los ensayos se hizo un importante trabajo de campo, consiguiendo quince piezas de ladrillo, extraídas de edificios de principios del siglo XX en la provincia de Zamora. La mayoría de las muestras pertenecen al municipio de Toro, donde la construcción latericia tuvo un importante repunte a finales del siglo XIX. Otras han sido extraídas de la Tejera de San Antonio, en el municipio de El Perdígón, la única de fabricación industrial, donde se elaboraron la mayor parte de los ladrillos que se utilizaron para las construcciones zamoranas a principios del siglo XX. También se consiguió una pieza en la zona Sanabria-La Carballeda, en concreto en Otero de Bodas. Todas ellas, fueron elaboradas con arcillas de diferentes facies, destacando la facies Entrala y la facies Tierra de Campos, al norte de la provincia.

Encontramos muestras con características muy diferentes, tanto en color, encontrando ladrillos rojos de diferentes tonos, amarronados y grisáceos; como en texturas y acabados, de manera que unas eran de ladrillo fino prensado, con sus tablas rebajadas o acanaladas para acoger el mortero de las juntas, y otras de ladrillo ordinario con acabado tosco.

Para este estudio no se descartó ninguna de las piezas, ya que su diversidad permite establecer comparaciones entre tejas, unas artesanales y otras industriales, así como de los diversos tipos de ladrillo.

2. CAMPAÑA EXPERIMENTAL

2.1 Preparación y catalogación de las muestras

Todas las muestras contenían suciedad y restos de mortero de la construcción de las fábricas de ladrillo de las que fueron extraídas, por ese motivo, el primero de los trabajos consistió en limpiar y eliminar los materiales espurios que pudieran distorsionar los ensayos. Posteriormente, se numeraron y se catalogaron con el fin de establecer una clasificación que sirviera de pauta para organizar las diferentes probetas que se iban a conformar cada una de las muestras. Además, se fotografiaron todas sus caras sobre una plantilla escalada, de manera que se dejara constancia de su morfología primigenia.



Figura 1: Limpieza y muestra de catalogación

2.2 Corte de las muestras

El primer corte se realizó con una cortadora tronzadora marca STRUERS Labotom, provista de un disco para corte cerámico, obteniendo un total de 102 probetas (tabla 1). Posteriormente tuvieron un proceso de mecanizado para adecuar todas sus superficies al ensayo a compresión, empleando una pulidora de marca STRUERS LaboPol-1, provista de papel lija de grano 180.

Estas probetas también se catalogaron con un código alfanumérico, con el número de muestra, el número de probeta y la cara (6-1-I). Finalmente se secaron en una secadora marca Memmert (Tmax 350°C), para eliminar los restos de agua que pudieran haber absorbido durante la operación de acondicionamiento.

MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CANTIDAD	8	15	4	3	2	8	1	2	11	4	12	11	8	6	4

Tabla 1: número de probetas rectificadas para ser ensayadas a compresión



Figura 2: proceso de medición de las probetas

2.3 Medición de las probetas

Las probetas fueron medidas y pesadas para poder extraer todos los datos necesarios para calcular su resistencia mecánica. Se midieron todas sus aristas con un calibre digital, marca MITUTOYO, modelo CD 6" (sensibilidad $\pm 0,01$ mm). Para la pesada, se utilizaron tres máquinas diferentes: una balanza de precisión KERN AIS-20-4N (sensibilidad 0,0001gr), un horno, marca MICROTTEST, con controlador programable de temperatura Call 95000 P Process Controller, y un hervidor PRECISTERM de temperatura controlada, J.P. SELECTA, Fuse (A) 8.

La pesada se realizó en tres fases: 1) Pesada en seco, después de haber sido secadas al horno a una temperatura de 100°C ; 2) Pesada en húmedo, después de haber estado en ebullición a 100°C y 3) Pesada en seco tras la ebullición, para lo cual se metieron las probetas otra vez en el horno a secar durante 24 horas a 100°C . "Figura 2"

3. ENSAYOS REALIZADOS

Se estableció un orden de los ensayos, diferenciando entre los destructivos y los no destructivos. Además, se tuvieron en cuenta las necesidades de material en cada uno de ellos, ya que unos necesitaban probetas rectificadas y otros tan sólo fragmentos.

3.1 Determinación de la densidad

La Norma UNE en 772-13:2001 establece los métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Es la Parte 13 donde determina la necesidad de calcular la densidad absoluta seca y la densidad aparente seca, para la cual, como se ha explicado anteriormente en el apartado 2.3. de este documento, las probetas fueron pesadas y medidas antes y después de llevarlas a ebullición, siempre pasando por el horno para secarlas a 100°C .

Los registros de peso de la probeta húmeda (P_H), peso de la probeta seca (P_s), peso de la probeta saturada (P_{sat}) y el peso en seco tras la inmersión (P_{sf}) han permitido determinar la humedad de la probeta (H), la absorción de agua (A), la densidad global (ρ_g), el volumen de porosidad abierta (V_{pa}), la porosidad abierta (P_a) y la pérdida de masa por inmersión ($\% \Delta P_s$) a través de las expresiones (1), (2), (3), (4), (5) y (6).

$$H = (P_H - P_s) / P_s \cdot 100 \quad (1)$$

$$A = (P_{sat} - P_s) / P_s \cdot 100 \quad (2)$$

$$\rho_g = P / V_t \quad (3)$$

$$V_{pa}=(P_{sat}-P_s)/\rho_l \quad (4)$$

$$P_a=V_{pa}/V_t \cdot 100 \quad (5)$$

$$\% \Delta P_s=(P_{sf}-P_s)/P_s \cdot 100 \quad (6)$$

Ejemplos de los datos obtenidos los encontramos en la Tabla 2 se recogen los valores obtenidos en las probetas.

Tabla 2 (no se si ponerla o no...., depende de cuanto ocupe el resto)

	Absorción de agua (%peso)	Densidad global (g/mm ³)	Porosidad abierta (%vol.)	Humedad (%peso)	Pérdida por inmersión (%peso)
1-1-C	20,51243	0,00154	32,54894	1,06401	-2,09407
1-2-C	19,50708	0,00155	31,30355	0,75929	-0,68716
1-3-C	19,81649	0,00160	32,89734	0,81053	-1,21979
1-4-C	18,31019	0,00160	30,00813	1,72547	-2,95959
2-1-C	11,57018	0,00192	23,09563	0,21332	-0,15604
2-2-C	11,50533	0,00191	22,83414	0,23531	-0,20447
2-3-C	10,83386	0,00193	21,74934	0,23799	-0,27767
2-4-C	11,00058	0,00191	21,87167	0,32384	-0,68831
2-5-C	11,77355	0,00192	23,56841	0,19572	-0,14197
2-6-C	11,67882	0,00192	23,32848	0,25937	-0,34740
2-7-C	12,02392	0,00190	23,75125	0,18713	-0,15955
2-8-C	11,71767	0,00190	23,21815	0,19860	-0,14794
2-9-C	11,42110	0,00193	22,94730	0,23306	-0,40038
2-10-C	13,02092	0,00187	25,31810	0,20760	-0,14214
3-1-C	4,16662	0,00222	9,63792	0,07389	-0,05366
3-2-C	5,77550	0,00223	13,44353	0,08117	-0,03244
3-3-C	6,89927	0,00215	15,44392	0,11631	-0,08623
3-4-C	5,83135	0,00217	13,21994	0,08295	-0,06062
4-1-C	6,79062	0,00208	14,74191	0,13825	-0,16043
4-2-C	6,96911	0,00207	15,06220	0,13499	-0,11333
4-3-C	6,50957	0,00205	13,89271	0,11207	-0,08091
5-1-C	9,02375	0,00196	18,06625	2,07049	-3,50863
5-2-C	16,00369	0,00195	31,97678	1,74713	-3,65743
6-1-C	13,35674	0,00184	25,41606	0,85688	-0,94607
6-2-C	12,90033	0,00186	24,85619	0,86589	-0,80542
6-3-C	13,72393	0,00185	26,35277	0,45367	-0,58262
6-4-C	13,67372	0,00184	26,13907	0,47287	-0,68857
6-5-C	14,30570	0,00182	27,08681	0,33210	-0,52214
6-6-C	13,50774	0,00183	25,54496	0,81355	-0,82220
6-7-C	14,38300	0,00182	27,08415	0,64231	-1,05330
7-1-C	15,38142	0,00164	25,78555	2,27391	-3,66830

Las probetas muestran una variación de densidad global y de porosidad abierta entre las muestras. Los valores medios de la densidad global oscilan entre 0,001572g/mm³ y 0,002193g/mm³, con valores medios de porosidad abierta que van desde el 13,753% hasta el 31,669%. Estos valores de porosidad inciden negativamente sobre su resistencia mecánica, su comportamiento frente al ataque químico y su resistencia al choque térmico.

3.2 Estudio macroscópico y microscópico de las probetas

Se sacaron imágenes macroscópicas de las probetas, que dejaban ver a simple vista ciertas peculiaridades de cada una, fundamentalmente las inclusiones, fases, texturas e incluso líneas de flujo derivadas del proceso de fabricación.

Para la observación microscópica de las muestras se empleó un microscopio de la marca ZEISS Axiovert 100A, que lleva incorporado un binocular de 10x y con cuatro objetivos de 4x, 10x, 20x y 50x, de manera que con la combinación del conjunto se obtienen los aumentos de 40x, 100x, 200x y 500x. El microscopio soporta una cámara digital Optika de 3 MPixel que va unida a un ordenador con un software específico (Optika Vision Lite) para poder tratar las imágenes obtenidas.

Este ensayo permitió conocer la interacción entre minerales, procesos de sinterización y cocción y reacciones entre partículas.

3.3 Ensayos de resistencia a compresión

Los ensayos de rotura a compresión simple se llevaron a cabo en las instalaciones de la empresa zamorana GRUPO INZAMAC, S.L., en el laboratorio de ensayo de materiales de construcción, ubicado en el polígono industrial La Hiniesta, de Zamora.

Para estas pruebas se utilizó la máquina universal de tracción-compresión electromecánica, marca CODEIN modelo MCO-30 modelo, nº de serie: 5013. Esta máquina está conectada a un ordenador que controla el proceso y registra los datos, con un software propio, también CODEIN.

Un ejemplo de toma de datos se transcribe en la “tabla 3”, correspondiente a la probeta 2-C-1

Tabla 3: lectura del ensayo da compresión

Velocidad	100 kgf/s			
L. superior de fuerza	20,00 tf			
L. inferior de fuerza	-20,00 tf			
L. superior de posición	200,00 mm			
L. inferior de posición	-200,00 mm			
Indicación de fuerza	33,55 KN			
Indicación de posición	2,16			
Número de lecturas de ensayo	120			
	Nª de lectura	Tiempo (s)	Fuerza (Kn)	Posición (mm)
Punto de fuerza máxima	112	33,6	33,553	1,7
Punto de fuerza mínima	1	0,3	0,0478	0
Punto de posición máxima	120	36	27,2325	2,07
Punto de posición mínima	0	0	98066490	9999999
	Nª de lectura	Tiempo (s)	Fuerza (Kn)	Posición (mm)
Punto de fuerza máxima	112	33,6	33,553	1,7
Punto de fuerza mínima	1	0,3	0,0478	0
Punto de posición máxima	120	36	27,2325	2,07
Punto de posición mínima	0	0	98066490	9999999
Valor medio de la fuerza	17,3638 kN			

Valor medio de la posición	1,06 mm						
Intervalo de muestreo	0,30 s						
Todas las lecturas del proceso							
Nº lectura	Tiempo (s)	Fuerza (kN)	Posición (mm)	Tensión (N/mm)	Deformación (10 ⁻³)	E instantáneo	E medio inicial
1	0,3	0,0478	0	0,0349004	0		
.....							
120	36	27,2325	2,07	19,555250	73,930575		-377,268595

Del análisis de los datos intermedios, se extraen los valores importantes y necesarios para leer el comportamiento de las probetas a esfuerzos a compresión. Estos valores se traspasan a gráficas donde se compara la evolución de la deformación con relación a la carga.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

Los ensayos citados permitieron hacer una descripción somera de las muestras que permite relacionar sus características con su resistencia a esfuerzos a compresión que se condensan en la “tabla 4”

4.1 Datos obtenidos del estudio macroscópico

De los resultados obtenidos del estudio macroscópico de las probetas se han establecido cuatro grupos:

G1: presentan gran cantidad de fases visuales a simple vista, de textura blanca y con grietas asociadas a estas macrofases. (1, 6, 8)

G2: estas probetas muestran inclusiones y fases de gran tamaño pero que, al haberse cocido a mayor temperatura, presentan gran dureza y cohesión entre las mismas. (3, 4, 10)

G3: contienen múltiples inclusiones de arena (sílice) y posee una textura granular. (2, 5, 9)

G4: estas probetas muestran líneas de flujo debido al proceso de fabricación de las piezas (compresión uniaxial de la pasta y extrusión), de manera que ante determinados esfuerzos se podrían romper con facilidad (11-15)

4.2 Datos obtenidos del estudio microscópico óptico

Del estudio de microscopía óptica de las probetas se han obtenido los siguientes datos:

- T: Temperatura de cocción: baja o alta
- Dis: Disgregación de los distintos minerales: si o no
- R: Reacción de forma extensiva de los minerales durante la cocción: si o no
- Dif: Difusión y rotura de los granos de sílice: si o no
- Int: Interacción entre distintos minerales arcillosos: si o no
- F: Fases definidas: si o no
- Sint: Proceso de sinterización definido: si o no.

Tabla 4: descripción de las probetas

Muestra	Procedencia	Tipo	Resultado de Macroscopía	Resultado de Microscopía óptica
1	Toro	Ordinario	G1	T (baja); Dis (si); R (si); Dif (si); Int (si); F (si); Sint (si)
2	Toro	Ordinario	G3	

3	Toro	Ordinario	G2	
4	Toro	Ordinario	G2	
5			G3	
6			G1	
7				

4.3 Datos obtenidos del ensayo a compresión

Esto le corresponde a Ana Ramos...

5. CONCLUSIONES

Es recomendable redactar unas conclusiones finales en el artículo.

6. BIBLIOGRAFÍA

Mari Paz, este trabajo es tuyo.

La numeración de las referencias debe hacerse en forma consecutiva, en el orden de aparición y entre corchetes [1]. En el texto citar simplemente el número de referencia, por ejemplo: como en [2]. Se seguirán las normas internacionales utilizadas generalmente en las diversas publicaciones. Se acompañan a continuación ejemplos para artículos de revistas [1], memorias de un congreso [2], libros [3] y sitios web [4]. Entre cada referencia deje un renglón en blanco (11pt).

[1] Hanna, A.M. and Nguyen, T.Q. Shaft resistance of Single Vertical and Batter Piles in Sand Subjected to Axial Compression Loading. *ASCE, Journal of Geotechnical and Environmental Engineering*. Vol. 129/3 (2003).

[2] Silva, J.M., Abrantes, V. Consequences on brickwork of clay brick and mortar differential movement. *Proceedings of XXV IAHS World Housing Congress*, Lisboa, Junio-Julio 1998.

[3] Addleson, L., Rice, C. *Performance of Materials in Buildings*. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1995.

[4] Okraglik, H. *Sustainable housing: a case study of Australia's first green home*. <http://www.rmit.edu.au/programs/sustainable> (18/03/2005).