

Características geométricas, físicas y mecánicas de mampuestos cerámicos huecos fabricados en Uruguay

Fontana Cabezas, Juan José

Resumen

Este artículo plantea un estudio de las características geométricas, físicas y mecánicas de una selección de mampuestos cerámicos huecos fabricados en Uruguay, basado en resultados obtenidos en ensayos de laboratorio que determinan sus dimensiones, desviaciones de forma, coeficientes de absorción y succión de agua y resistencias a compresión. Por otra parte, se estudian también los resultados obtenidos en los ensayos con el fin de determinar la viabilidad de la técnica de la mampostería cerámica hueca portante y el análisis de los cuidados que ésta requiere en las etapas de diseño y ejecución de obra.

Palabras clave: ingeniería en construcciones, mampuesto, hueco, cerámica, ensayo

Artículo que expone resultados de una investigación realizada por el autor en el Instituto de la Construcción, Facultad de Arquitectura, Universidad de la República –UdelaR– (Uruguay), con financiación de la Comisión Sectorial de Investigación Científica –CSIC– de la Universidad de la República, Uruguay; recibido en setiembre 2010, admitido en febrero 2011.

Autor: Arquitecto, docente de la Facultad de Arquitectura, UdelaR, Montevideo (Uruguay), aspirante a Doctor por la Universidad de Alicante, España. Email: juanjosefontana@gmail.com

Geometric, physical and mechanical properties of hollow ceramic bricks produced in Uruguay

Abstract

This article presents a study of the geometric, physical and mechanical properties of a selection of hollow ceramic bricks produced in Uruguay, based on results of laboratory tests that determined their size, shape deviations, coefficients of absorption and water suction and compressive strength. A study of tests results is made in order to determine the feasibility of the technique of hollow ceramic bricks as a structural material and the analysis of the cares required in the design and construction stages for building in this material.

Keywords: civil engineering, hollow, brick, ceramic, test

Características geométricas, físicas e mecânicas de blocos cerâmicos fabricados no Uruguai

Resumo

Este artigo propõe um estudo das características geométricas, físicas e mecânicas de uma seleção de blocos cerâmicos fabricados no Uruguai, baseado em resultados obtidos em ensaios de laboratório que determinam suas dimensões, desvios de forma, coeficientes de absorção e sucção de água e resistências à compressão. Por outro lado, estudam-se também os resultados obtidos nos ensaios com o fim de determinar a viabilidade da técnica da alvenaria cerâmica portante e a análise dos cuidados que esta requer nas etapas de desenho e execução de obra.

Palavras chave: engenharia em construções, bloco, tijolo cerâmico, ensaio

I. Introducción

En los últimos 100 años ha existido un predominio casi absoluto del uso del acero y el hormigón armado en la ejecución de estructuras edilicias, situación que puede ser explicada por el alto grado de desarrollo que han tenido los métodos de dimensionado y el estudio de las propiedades de estos materiales. No ha ocurrido lo mismo en la técnica de construcción con albañilería estructural.

Sin embargo, el gran déficit habitacional actual que sufre Uruguay, junto al alto costo del metro cuadrado de construcción, exigen el estudio de sistemas constructivos que posibiliten una obra más rápida y económica sin descuidar las condiciones mínimas de habitabilidad. Los mampuestos huecos de arcilla cocida son aptos para resolver el problema de las construcciones en serie, ya que presentan un grado óptimo de aislamiento térmico y acústico (mejor aún que el de los mampuestos macizos) y permiten un importante ahorro de mortero y tiempo de ejecución gracias a sus mayores dimensiones. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología en Uruguay ha resultado dificultosa por la falta de conocimiento de las características técnicas de los materiales nacionales y por la falta de una normativa adaptada a la realidad de la industria de la construcción local que regule su producción y su uso.

En el ámbito internacional existe, en la actualidad, una amplia variedad de productos cerámicos que han evolucionado a la par de los avances tecnológicos de la industria de la construcción. Se han optimizado algunas de las ventajas tradicionales de este material: gran resistencia al fuego, bajo mantenimiento, excelente envejecimiento y se han agregado otras, que lo posicionan competitivamente junto a los materiales más habituales en el diseño de estructuras (acero y hormigón armado). Han aparecido piezas de grandes dimensiones como respuesta al uso de grúas y sistemas de transporte que posibilitan la puesta en obra de elementos más allá del tamaño manual, compitiendo con los prefabricados de hormigón armado; se han multiplicado sus texturas y acabados, han mejorado sus cualidades de aislamiento térmico, acústico y húmedo, han aparecido multitud de piezas especiales para la solución de detalles y encuentros con otros elementos constructivos,

se han desarrollado diseños de mampuestos con elevados porcentajes de huecos que permiten la puesta en obra con sus orificios en posición vertical sin que el mortero se escurra dentro de la junta, han aumentado sus valores de resistencia mecánica a la compresión y su uso conjunto con barras de acero los ha dotado de altos valores de resistencia a flexotracción, corte y torsión. Se han reducido, por otra parte, los tiempos necesarios de ejecución, aumentado los tamaños de los mampuestos, disminuyendo el espesor necesario de las juntas de mortero o incluso sustituyéndose estas últimas por uniones en seco.

Sin embargo, a excepción de la obra del ingeniero Eladio Dieste¹, del arquitecto García Pardo² y de algunos otros casos paradigmáticos pero aislados, el uso en Uruguay de la cerámica como material estructural no ha evolucionado, quedando al margen de estos importantes avances logrados a nivel mundial en las últimas décadas. Cada vez son menos los productores uruguayos que fabrican mampuestos cerámicos huecos y se ha ido reduciendo progresivamente la diversificación de tamaños, piezas y texturas en nuestro medio. La crisis económica que afectó la economía nacional en los primeros años del siglo XXI provocó una fuerte recesión en la industria de la construcción que ha dejado secuelas hasta el día de hoy. Los productores que no cerraron sus industrias redujeron al mínimo los riesgos en la inversión y mantuvieron en el mercado los materiales que tradicionalmente han sido de mayor consumo, sin aventurarse hasta hoy día a lanzar nuevos productos.

En este artículo se presentan y discuten los resultados obtenidos en ensayos realizados sobre diez tipos de mampuestos cerámicos huecos fabricados en Uruguay (ensayos de dimensiones, espesores de tabiques, porcentajes de huecos, planeidad de las caras, rectitud y escuadría de las aristas, absorción de agua, tasa de absorción de agua inicial y resistencia a compresión), a efectos de evaluar la viabilidad de la técnica de la mampostería portante realizada con mampuestos huecos de cerámica, en la industria de la construcción uruguaya de principios del siglo XXI.

II. Objetivos

No existe un conocimiento difundido sobre las características geométricas, físicas y mecánicas de los mampuestos cerámicos huecos fabricados en Uruguay, por lo que su uso como material estructural ha sido hasta el día de hoy limitado y basado en criterios fundamentalmente pragmáticos. El presente trabajo busca propiciar un uso racional de estos mampuestos como material estructural, que permita disminuir costos en la industria de la construcción gracias a la optimización del aprovechamiento de los recursos humanos y la materia disponibles.

Si bien no se realiza en este estudio un análisis de costos de los procesos constructivos edilicios, se considera que la difusión de datos precisos sobre dichas características geométricas, físicas y mecánicas incentivará el uso de la mampostería como material estructural, ya que suele ser, en gran parte de las construcciones de pequeña y mediana escala en nuestro medio, una alternativa más económica que la construcción con estructuras de hormigón armado o acero. La disponibilidad de datos geométricos precisos permitiría una mejor coordinación modular a la hora de proyectar este tipo de estructuras y una elección más certera de los tipos de aparejo y espesores de junta a utilizarse en obra, optimizándose tiempos de trabajo y empleo de recursos. La disponibilidad de datos físicos permitiría optimizar los procesos de ejecución, ajustándose las dosificaciones de mortero idóneas para cada tipo de mampuesto, y la disponibilidad de datos mecánicos permitiría una reducción en los coeficientes de seguridad utilizados en el cálculo estructural.

Específicamente se realizaron, sobre diez tipos de mampuestos, ensayos para determinar:

- Dimensiones medias
- Desviaciones de forma
- Coeficientes de absorción
- Tasas iniciales de absorción de agua
- Resistencias media y característica a compresión de mampuestos.

III. Materiales y métodos

Se seleccionaron 10 tipos de mampuestos cerámicos huecos que cumplieran con las siguientes características:

- Ser fabricados en Uruguay.
- Haber estado disponibles durante las últimas dos décadas, al menos, en el mercado de la construcción uruguayo.
- Poseer dimensiones que permitan la construcción de muros de 12, 15 ó 20 cm de espesor, por ser los más habituales en estructuras edilicias de pequeña y mediana escala.

Fueron seleccionados mampuestos con espesores de 8, 12 y 17 cm provenientes de 3 fabricantes distintos:

Fabricante A: ticholo de 8 agujeros de 12x25x25 cm, ticholo de 6 agujeros de 17x25x25 cm y rejillón de 17x25x8 cm.

Fabricante B: ticholo de 6 agujeros de 12x25x25 cm, ticholo de 6 agujeros de 12x17x25 cm y ticholo de 6 agujeros de 8x14x19 cm.

Fabricante C: ticholo de 8 agujeros de 8x25x25 cm, ticholo de 10 agujeros de 12x25x25 cm, ticholo de 15 agujeros de 17x25x25 cm y rejillón de 12x17x25 cm.

Debido a la ausencia de normativa uruguaya para el estudio de mampuestos cerámicos, se eligió la normativa española por la influencia que en general poseen los criterios que la misma establece en los estudios de materiales estructurales realizados en Uruguay. Para los ensayos en los que no se dispuso de normas españolas, se seleccionaron normas IRAM debido a la proximidad geográfica y estrecha relación cultural existentes con Argentina.

Fueron realizados, entonces, los ensayos según las siguientes normativas:

- ensayos de características geométricas: según norma IRAM 12585
- ensayos de absorción específica de agua: según norma UNE 67-027-84
- ensayos de tasa inicial de absorción de agua: según norma UNE-EN 772-11
- ensayos de compresión: según norma UNE-EN 772-1

Se utilizaron los siguientes equipos para la realización de los ensayos: Pórtico de Carga: Cilindro de carga modelo RC 756, capacidad de carga 75 toneladas. Bomba modelo P 462, dos velocidades. Manguera de alta presión, válvula reguladora, válvula de retención, manómetro. Prensa Soiltest modelo CT 711, capacidad de carga 100 toneladas. Balanza de precisión marca Ohaus, con sensibilidad de 0,5g. Instrumentos de laboratorio.

IV. Resultados y discusión

IV.1. Dimensiones de los mampuestos

En la **Imagen 1** se presenta un resumen gráfico de los mampuestos ensayados, de las dimensiones medidas y sus coeficientes de variación.

En la **Tabla 1** se indican, para mediciones realizadas sobre 10 probetas, los valores obtenidos de dimensiones promedio, coeficientes de variación de las dimensiones y mayores variaciones en un mampuesto. Este último valor representa la mayor variación de longitud detectada en un mismo mampuesto, en las cuatro mediciones realizadas para cada una de sus dimensiones, y ayuda a clarificar acerca de sus desviaciones de forma.

La regularidad en las dimensiones de los mampuestos es una de las primeras propiedades exigibles a la producción nacional. La coordinación modular es una importante herramienta de diseño que permite abaratar costos en la construcción, disminuyendo el número de adaptaciones necesarias a efectuar sobre los mampuestos para ser colocados en obra. La gran dispersión existente en las dimensiones promedio de la muestra de los diferentes mampuestos ocasiona dificultades en la etapa de proyecto, cuando no se han definido aún el origen de los mampuestos a utilizar y la definición de la medida o módulo básico.

El Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería, en sus *Recomendaciones* [1], no establece la necesidad de definir formatos estandarizados que unifiquen la producción nacional, así como tampoco define las tolerancias máximas en las variaciones dimensionales.

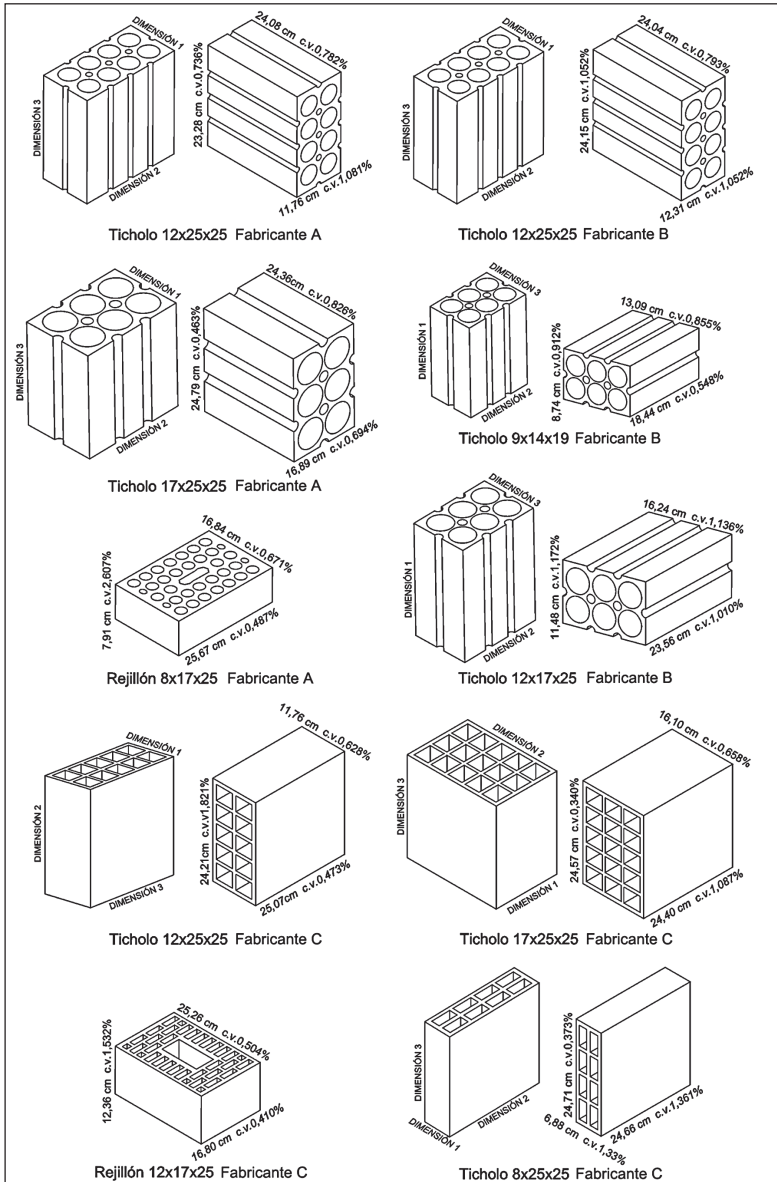


IMAGEN 1: Longitud y coeficiente de variación de las dimensiones de los mampuestos ensayados

TABLA 1: Dimensiones promedio y coeficientes de variación obtenidos en los ensayos

Tipo de mampuesto	Dimensiones Promedio (mm)			Coeficiente de Variación (%)			Mayor variación en un mampuesto (mm)		
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.1	Dim.2	Dim.3
Rejillón de 8x17x25 Fabricante A	168,4	256,7	79,1	0,671	0,487	2,607	3,5	4,0	4,0
Ticholos de 12x25x25 Fabricante A	117,6	232,8	240,8	1,081	0,736	0,782	4,0	5,5	4,0
Ticholos de 17x25x25 Fabricante A	168,9	247,9	243,6	0,694	0,463	0,826	5,5	4,0	4,5
Ticholos de 9x14x19 Fabricante B	184,4	130,9	87,4	0,548	0,855	0,912	2,0	2,5	2,0
Ticholos de 12x17x25 Fabricante B	235,6	162,4	114,8	1,010	1,136	1,172	7,0	4,5	5,5
Ticholos de 12x25x25 Fabricante B	123,1	241,5	240,4	1,119	1,052	0,793	4,0	6,0	6,5
Ticholos de 8x25x25 Fabricante C	68,8	247,1	246,6	1,330	0,373	1,361	4,5	3,5	2,5
Ticholos de 12x25x25 Fabricante C	117,6	250,7	242,1	0,628	0,473	1,821	2,0	2,5	4,0
Ticholos de 17x25x25 Fabricante C	161,0	245,7	244,0	0,658	0,340	1,087	2,5	4,0	6,0
Rejillón de 12x17x25 Fabricante C	252,6	168,0	123,6	0,504	0,410	1,532	4,5	2,5	5,5

En nuestros hallazgos, los rejillones, con dimensiones promedio de aproximadamente 17x25cm, no cumplen con la condición b) de las *Prescripciones* del Instituto Eduardo Torroja [2], por lo que se acotan los tipos de aparejo que con ellos es posible realizar.

Con respecto a los coeficientes de variación, se observa que los ticholos del Fabricante B presentan menores variaciones en sus dimensiones según el sentido de extrusión, en tanto que los rejillones tienen mayor variación en ese sentido.

Son particularmente elevados los coeficientes de variación de las siguientes dimensiones:

- dimensión 3 (grueso) del rejillón del Fabricante A.: 2,607%
- dimensión 3 del ticholo 12.25.25 del Fabricante C: 1,821%
- dimensión 3 (grueso) del rejillón del Fabricante C: 1,532%

- dimensiones 1 y 3 (soga y grueso) del ticholo 8.25.25 del Fabricante C: 1, 33% y 1,361% respectivamente.

Estas mayores variaciones detectadas, en general, en la dimensión del grueso de los mampuestos, podrían atribuirse a la imprecisión de las máquinas utilizadas para el corte del mampuesto crudo, fabricado por extrusión.

En cuanto a las variaciones dimensionales que se establecen en [2], tomando en cuenta únicamente las tolerancias con respecto a la dimensión media de las 10 probetas (ya que no existe un valor nominal de comparación) se observa que:

- Ningún mampuesto satisface las exigencias establecidas para pertenecer a la categoría de “Calidad 1^a”.
- El ticholo 12.25.25 del Fabricante A y el ticholo 9.14.19 del Fabricante B, satisfacen las exigencias establecidas para pertenecer a la categoría de “Calidad 2^a”.
- Los ticholos 17.25.25 del Fabricante A y del Fabricante C satisfacen las exigencias establecidas para pertenecer a la categoría de “Calidad 3^a”.
- El resto de los mampuestos, es decir 6 de los 10 estudiados, no alcanzan a satisfacer las tolerancias dimensionales requeridas para un mampuesto de “Calidad 3^a”, por lo que, siguiendo estrictamente las prescripciones, no podrían utilizarse en la construcción edilicia.

Los ticholos 12.25.25 y 17.25.25 del Fabricante A, el ticholo 12.17.25 del Fabricante B y el ticholo 17.25.25 y el rejillón del Fabricante C cumplen con las tolerancias impuestas por el Pliego de condiciones RL-88 [3] y la norma UNE 67019 para mampuestos a cara no vista. El ticholo 9.14.19 del Fabricante B cumple incluso con las tolerancias impuestas para mampuestos a cara vista (aunque no esté diseñado para ello). Los demás mampuestos presentan variaciones por encima de los mínimos admisibles.

El ticholo 9.14.19 del Fabricante B es el único que cumple con las Normas RL-88 [3] y RH90 de España.

IV.2. Espesor de los tabiques y porcentaje de huecos

En la **Tabla 2** se indican los valores obtenidos para espesores mínimos de tabiques y porcentaje promedio de huecos. Dichos valores fueron determinados con mediciones realizadas sobre 10 probetas.

TABLA 2: Espesores de tabiques y porcentajes de huecos obtenidos en los ensayos

Tipo de mampuesto	Espesor mínimo de tabiques (mm)		Porcentaje de Huecos promedio (%)
	Exteriores	Interiores	
Rejillón de 8x17x25 Fabricante A	11,0	7,0	36,75
Ticholos de 12x25x25 Fabricante A	9,5	5,0	50,65
Ticholos de 17x25x25 Fabricante A	12,0	8,0	55,13
Ticholos de 9x14x19 Fabricante B	6,5	6,0	39,40
Ticholos de 12x17x25 Fabricante B	9,0	7,0	41,90
Ticholos de 12x25x25 Fabricante B	8,0	7,0	53,95
Ticholos de 8x25x25 Fabricante C	7,5	7,0	50,45
Ticholos de 12x25x25 Fabricante C	7,0	6,5	58,41
Ticholos de 17x25x25 Fabricante C	7,0	6,0	62,14
Rejillón de 12x17x25 Fabricante C	8,0	5,0	42,40

Según la clasificación de [1], el ticholo 17.25.25 del Fabricante C presenta un porcentaje de huecos demasiado elevado (mayor a 60%) para poder ser usado en paredes resistentes. El ticholo 8.25.25 del Fabricante C tiene un ancho menor a 11cm, por lo que también quedaría excluido como material de uso estructural.

Los espesores de las paredes internas y externas del ticholo 12.25.25 del Fabricante A, el ticholo 9.14.19 del Fabricante B y los mampuestos del Fabricante C, no cumplen con los mínimos requeridos.

El ticholo 17.25.25 del Fabricante A y el ticholo 12.25.25 del Fabricante B deberían aumentar el espesor de sus tabiques para que sumen al menos 1/5 de su espesor total.

Satisfacen totalmente las condiciones para ser usados en paredes resistentes el rejillón del Fabricante A y el ticholo 12.17.25 del Fabricante B, siempre y cuando este último sea utilizado con su cara mayor como tabla o cara de asiento.

El rejillón del Fabricante A quedaría incluido en la categoría de ladrillo hueco "Clase A", y el ticholo 12.25.25 del Fabricante B en la de ladrillo hueco "Clase B", por ser su porcentaje de huecos mayor a 40%.

El ticholo 17.25.25 del Fabricante C debería disminuir su porcentaje de huecos a menos de 60% y los demás mampuestos estudiados (excepto el ticholo 8.25.25) deberían aumentar el espesor de sus tabiques para poder ser usados en paredes resistentes.

Según las Prescripciones de [2], todos entran en la categoría de ladrillos huecos.

Según las Normas UNE 67019 y RL-88 [3] de España, todos cumplen con los espesores mínimos de tabiques para ser utilizados en muros interiores. Sin embargo, el ticholo 12.25.25 del Fabricante A y el rejillón del Fabricante C deberían aumentar a 6mm, por lo menos, el espesor mínimo de sus tabiques para poder ser empleados en muros exteriores a revestir.

Ninguno de los mampuestos estudiados cumple con la norma española RH90.

TABLA 3: Desviaciones de forma máximas obtenidas en los ensayos

Tipo de mampuesto	Planeidad de las Caras		Rectitud de las Aristas		Escuadría de las aristas
	Máxima flecha (mm)	Máxima flecha relativa (mm/cm ²)	Máxima flecha (mm)	Máxima flecha relativa (mm/cm ²)	Máxima falta de escuadría (mm/cm)
Rejillón de 8x17x25	2,0	2,0/204=	1,0	1,0/25,65=	3,0/7,80
Fabricante A		0,0098		0,0390	2,2°
Ticholos de 12x25x25	3,0	3,0/561=	1,0	0,5/11,6=	5,0/0,0431
Fabricante A		0,0053		0,0431	2,4°
Ticholos de 17x25x25	2,0	2,0/418=	1,5	1,5/24,8=	7,5/24,30
Fabricante A		0,0048		0,0605	1,8°
Ticholos de 9x14x19	1,5	1,0/113=	1,5	1,0/8,7=	7,0/18,59
Fabricante B		0,0088		0,115	2,2°
Ticholos de 12x17x25	2,5	2,5/189=	2,0	2,0/11,5=	12,0/23,60
Fabricante B		0,0132		0,174	2,9°
Ticholos de 12x25x25	3,0	3,0/297=	1,5	1,5/12,38=	12,0/24,23
Fabricante B		0,0101		0,121	2,8°
Ticholos de 8x25x25	1,5	1,5/170=	4,0	4,0/7,0=	9,5/24,78
Fabricante C		0,0088		0,571	2,2°
Ticholos de 12x25x25	2,0	2,0/290=	2,0	1,0/11,7=	10,0/24,53
Fabricante C		0,0069		0,085	2,3°
Ticholos de 17x25x25	2,5	2,5/398=	3,0	3,0/16,1=	5,5/15,99
Fabricante C		0,0063		0,186	2,0°
Rejillón de 12x17x25	1,5	1,5/211=	1,0	1,0/12,2=	11,0/25,26
Fabricante C		0,0071		0,082	2,5°

TABLA 4: Resultados de la aplicación de normativas a los resultados de los ensayos de desviación de forma

Mampuesto	Planeidad de las caras		Rectitud de las aristas		Escuadría de las aristas	
	UNE 67019 y RL-88	RH90	UNE 67019 y RL-88	RH90	PIET 70	PIET 70
Rejillón de 8x17x25 Fabricante A	V	NV	V	V	C1 ^a	C2 ^a
Ticholos de 12x25x25 Fabricante A	V	NV	V	V	C1 ^a	C2 ^a
Ticholos de 17x25x25 Fabricante A	V	NV	V	NV	C1 ^a	C1 ^a
Ticholos de 9x14x19 Fabricante B	V	no cumple	V	no cumple	C1 ^a	C2 ^a
Ticholos de 12x17x25 Fabricante B	NV	no cumple	V	no cumple	C1 ^a	C2 ^a
Ticholos de 12x25x25 Fabricante B	NV	NV	V	no cumple	C1 ^a	C2 ^a
Ticholos de 8X25X25 Fabricante C	V	NV	no cumple	no cumple	no cumple	C2 ^a
Ticholos de 12X25X25 Fabricante C	V	NV	V	NV	C1 ^a	C2 ^a
Ticholos de 17x25x25 Fabricante C	V	NV	NV	no cumple	C2 ^a	C2 ^a
Rejillón de 12x17x25 Fabricante C	V	NV	V	NV	C1 ^a	C2 ^a

V: cumple con las tolerancias para mampostería a cara vista. NV: cumple con las tolerancias para mampostería a cara no vista. C1^a: cumple con las tolerancias para mampuestos de Calidad 1'. C2^a: cumple con las tolerancias para mampuestos de Calidad 2'.

IV.3. Planeidad de las caras y rectitud y escuadría de las aristas

En la **Tabla 3** se indican los valores obtenidos en los ensayos que miden la planeidad de las caras y la rectitud y escuadría de las aristas. Dichos valores fueron determinados con mediciones realizadas sobre 10 probetas.

Los mampuestos estudiados, con excepción de los rejillones, no fueron diseñados para formar paredes a cara vista (**Tabla 4**). Se podría decir que son aptos para utilizar en la construcción atendiendo a las desviaciones de forma, con las siguientes salvedades:

- Los ticholos del Fabricante B no cumplen con la norma RH90 en cuanto a la rectitud de sus aristas.

- Los ticholos 12.17.25 y 12.25.25 del Fabricante B tampoco cumplen con la normativa RH90 en cuanto a la planeidad de sus caras.
- El ticholo 8.25.25 del Fabricante C presenta un defecto sistemático en su dimensión menor (grueso), una especie de alabeo del borde producido antes de la cocción que lo hace incumplir con las normativas en cuanto a la rectitud de sus aristas.
- El ticholo 17.25.25 del Fabricante C no cumple con la norma RH90 en cuanto a la rectitud de sus aristas.

IV.4. Absorción de agua

La absorción es la capacidad de imbibición de agua por inmersión completa del mampuesto a largo plazo. Se denomina *absorción específica de la muestra* a la media aritmética de los resultados del ensayo de 3 probetas. En la **Tabla 5** se indican los valores obtenidos del coeficiente de absorción específica. Se puede observar que la absorción específica de los mampuestos del Fabricante C es inferior a la de los otros fabricantes. Los valores más altos se registran en los ticholos del Fabricante B. Sin embargo, todos presentan valores muy por debajo de los máximos admisibles en las distintas normativas. En [1] se indica que el índice de absorción de agua refleja ciertos aspectos de calidad y durabilidad del mampuesto; sin embargo, no se especifica cuáles.

TABLA 5: Coeficientes de absorción específica obtenidos en los ensayos

	Coeficiente de absorción específica (%)		
	Fabricante A	Fabricante B	Fabricante C
Ticholos 8x25x25			12,04
Ticholos 12x25x25	12,82	14,39	10,89
Ticholos 17x25x25	14,08		10,90
Ticholos 12x17x25		15,93	
Ticholos 9x14x19		14,56	
Rejillón 8x17x25	14,65		
Rejillón 12x17x25			10,74

Se verificó la relación entre absorción y densidad; para ello, se determinó la densidad D (daN/dm^3) de los mampuestos como la relación entre su peso en estado seco P (daN) y su volumen V (dm^3), y la densi-

dad neta D' (daN/dm^3) como la relación entre su peso en estado seco P (daN) y su volumen neto V' ($V' = V - \text{Vol de huecos}$, dm^3).

En la **Tabla 6** se presentan los valores obtenidos de densidad y densidad neta, así como la media aritmética de los resultados de 6 probetas.

Graficando la absorción específica en función de la densidad D , no se observó relación alguna. Se graficó entonces la absorción específica en función de la densidad neta D' , apreciándose una relación inversamente proporcional: los mampuestos del Fabricante C, con mayores densidades netas, son los que presentaron menores valores de absorción específica.

Se calcularon las estadísticas de la recta que mejor se ajusta a los datos de absorción y densidad neta utilizando el método de “mínimos de cuadrados”:

Coeficiente de absorción específica = $-15,5092 \cdot D' + 39,3416$.

El coeficiente de determinación lineal (R^2) resultante es de 0,67, lo que indica que el 67% de los valores de absorción específica puede ser explicado por la densidad neta (D') (ver **Gráfico 1**).

TABLA 6: Densidades y densidades netas

Tipo de mampuesto	Densidad D (daN/dm^3)	Densidad Neta D' (daN/dm^3)
Rejillón de 8x17x25 Fabricante A	0,954	1,511
Ticholos de 12x25x25 Fabricante A	0,845	1,713
Ticholos de 17x25x25 Fabricante A	0,740	1,649
Ticholos de 9x14x19 Fabricante B	0,951	1,567
Ticholos de 12x17x25 Fabricante B	0,969	1,668
Ticholos de 12x25x25 Fabricante B	0,767	1,664
Ticholos de 8x25x25 Fabricante C	0,879	1,771
Ticholos de 12x25x25 Fabricante C	0,747	1,795
Ticholos de 17x25x25 Fabricante C	0,681	1,802
Rejillón de 12x17x25 Fabricante C	1,021	1,775

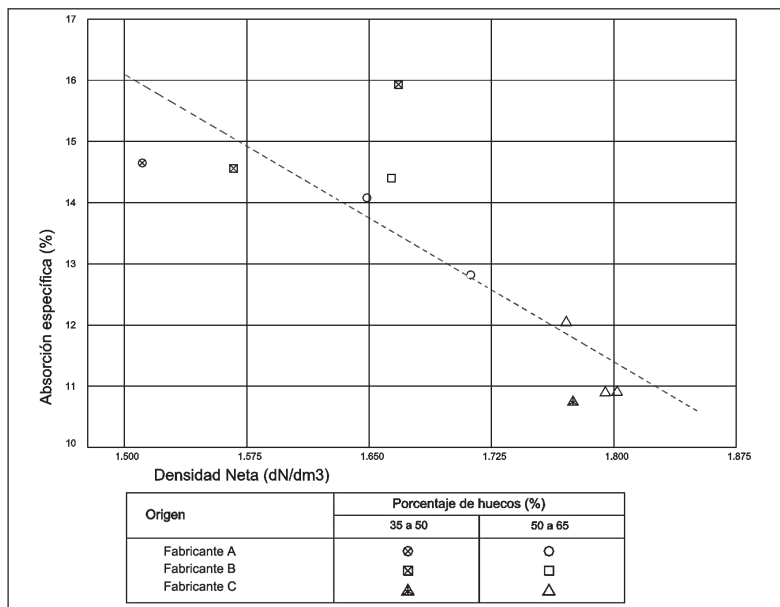


GRÁFICO 1. Absorción específica en función de la Densidad Neta

IV.5. Tasa de absorción de agua inicial

Se denomina tasa inicial de absorción de agua de la muestra a la media aritmética de los resultados del ensayo de 6 probetas. En la **Tabla 7** se indican los valores obtenidos de coeficiente de tasa inicial de absorción de agua.

TABLA 7: Tasas iniciales de absorción de agua obtenidas en los ensayos

	Tasa inicial de absorción de agua (g/(cm ² xmin))		
	Fabricante A	Fabricante B	Fabricante C
Ticholos 8x25x25			0,100
Ticholos 12x25x25	0,128	0,162	0,086
Ticholos 17x25x25	0,083		0,080
Ticholos 12x17x25		0,201	
Ticholos 9x14x19		0,219	
Rejillón 8x17x25	0,253		
Rejillón 12x17x25			0,111

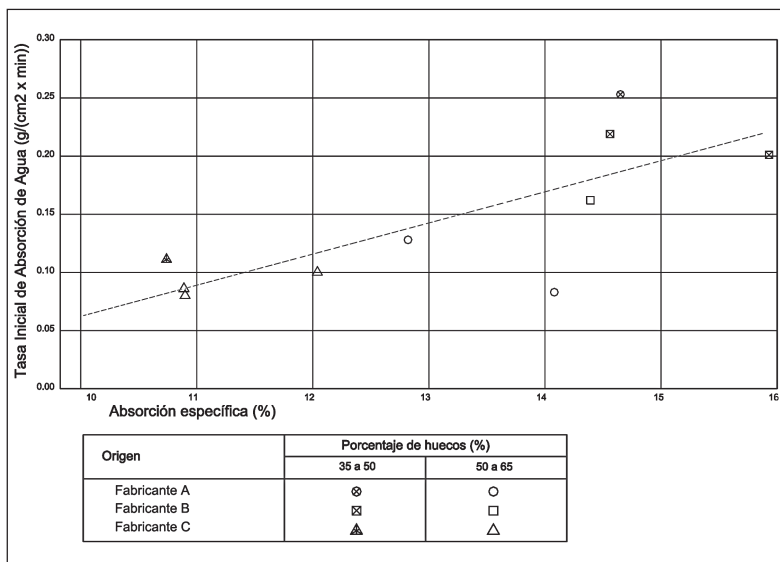
La succión o tasa de absorción de agua inicial es la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante inmersión parcial del mampuesto a corto plazo.

Si graficamos los valores de succión obtenidos en función de la absorción específica, se observa la relación directamente proporcional de una con respecto a la otra, con algunas excepciones: mampuestos con valores relativamente altos de absorción y bajos de succión (ticholo 17.25.25 del Fabricante A) y viceversa (rejillón del Fabricante A).

Se calcularon las estadísticas de la recta que mejor se ajusta a los datos de absorción y tasa inicial de absorción utilizando el método de “mínimos de cuadrados”:

Tasa inicial de absorción de agua = $0,0253 \cdot \text{Absorción específica} - 0,1892$

El coeficiente de determinación lineal (R^2) resultante es de 0,57, lo que indica que el 57% de los valores de tasa inicial de absorción de agua puede ser explicado por la absorción específica (ver **Gráfico 2**).



GRÁFICA 2: Tasa inicial de Absorción de agua en función de la Absorción específica

Existe gran disparidad en las distintas normativas sobre los valores aceptables de succión. Es necesario considerar, en este punto, que las condiciones ambientales locales podrían tener una influencia importante en el comportamiento de los mampuestos cerámicos cuando entran en contacto con agua o con materiales húmedos. De acuerdo al Pliego RL-88 [3], todos los mampuestos estudiados presentan valores aceptables. Sin embargo, el rejillón del Fabricante A y los ticholos del Fabricante B presentan valores elevados, por lo que deberían humedecerse antes de su colocación en obra para no quitar demasiada agua al mortero.

De acuerdo a la norma UNE 67019, también deberían humedecerse previamente el ticholo 12.25.25 del Fabricante A y el rejillón del Fabricante C. En ninguna norma se especifica cómo debe realizarse el humedecimiento previo.

El mampuesto con elevada tasa de absorción de agua inicial debe estar húmedo en su interior a efectos de disminuir su avidéz de agua, pero no en su superficie, ya que para adherirse correctamente debe ser capaz de tomar parte del agua de amasado del mortero, que arrastra consigo cemento. La retentividad o retención de agua del mortero es una característica importante que influye en la adherencia entre mortero y mampuesto. Es un índice que mide el grado de fluidez que cuenta el mortero luego que fue colocado sobre el mampuesto inferior y éste comienza a absorber el líquido del mortero. Si la retentividad es baja, el mortero, debido a la rápida pérdida del agua que es absorbida por el mampuesto, se deforma y endurece, lo que impide un contacto completo e íntimo con la cara del mampuesto que se está colocando en sitio sobre él. Si por el contrario, la retentividad es alta, el mortero conserva la misma consistencia para adherir correctamente, tanto a la unidad inferior como a la superior. El mortero debe tener una retención de agua, según norma ASTM C91, igual o superior al 70%.

IV.6. Resistencia a compresión

En la **Tabla 8** se indican los valores obtenidos en la determinación de resistencia media, resistencia característica y coeficientes de variación. Se denomina *resistencia media (0)* a la media aritmética de los resultados del ensayo de 6 probetas, en el caso de los ticholos, y de 20

probetas, en el de los rejillones. En la **Tabla 9** se presenta un análisis estadístico más detallado de los resultados obtenidos para los rejillones.

La resistencia característica (f_k) se determinó como: $f_k = 0 - 1.64 s$ (s): desviación estándar

TABLA 8: Resistencias a compresión y coeficientes de variación obtenidos en los ensayos

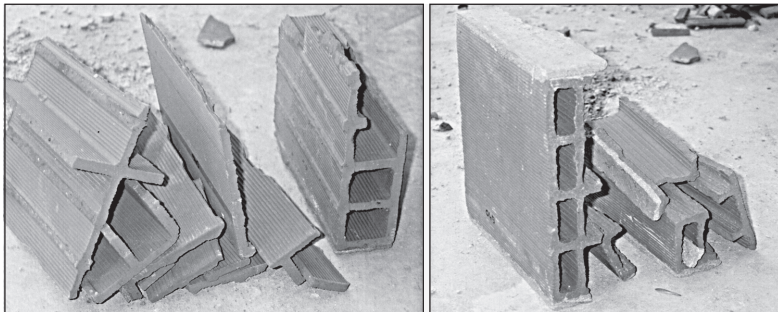
	Resistencia media (daN/cm ²) - Resistencia característica (daN/cm ²) (Coeficiente de variación (%))		
	Fabricante A	Fabricante B	Fabricante C
Ticholos 8X25X25 (huecos verticales)			89,61 - 75,65 (9,5)
Ticholos 8X25X25 (huecos horizontales)			27,25 - 20,18 (15,8)
Ticholos 12X25X25 (huecos verticales)	69,80 - 12,22 (50,3)	41,09 - 29,43 (17,3)	90,39 - 64,74 (17,3)
Ticholos 12X25X25 (huecos horizontales)	7,78 - 6,81 (7,6)	2,49 - 1,28 (29,9)	12,88 - 7,30 (26,4)
Ticholos 17X25X25 (huecos verticales)	57,58 - 33,21 (25,8)		95,98 - 67,49 (18,1)
Ticholos 17X25X25 (huecos horizontales)	5,58 - 4,65 (10,3)		19,75 - 16,09 (11,3)
Ticholos 12X17X25 (huecos verticales)		68,29 - 52,50 (14,1)	
Ticholos 12X17X25 (huecos horizontales)		13,45 - 8,76 (21,3)	
Ticholos 9X14X19 (huecos verticales)		50,19 - 33,64 (20,1)	
Ticholos de 9X14X19 (huecos horizontales)		9,54 - 6,28 (20,9)	
Rejillón 8X17X25	86,27 - 54,96 (22,1)		
Rejillón 12X17X25			134,81 - 93,03 (18,9)

Los ticholos se ensayaron con sus huecos en dirección vertical y horizontal. La resistencia media medida con los huecos en dirección vertical resultó entre 5 y 10 veces mayor que aquella medida con los huecos en dirección horizontal, llegando incluso en el caso del ticholo 12.25.25 del Fabricante B a ser 17 veces mayor.

IV.6.1. Resistencia a la compresión de los ticholos con huecos en dirección horizontal

El ticholo sometido a compresión con sus huecos en dirección horizontal presenta un comportamiento frágil, rompiéndose tempranamente. Sus tabiques verticales tienden a abrirse por tracción transversal y, al estar débilmente arriostrados, siempre aparece algún punto débil, en particular si ya presentaba fisuras previas, que origina el colapso sin que la mayor parte de la masa haya alcanzado tensiones relevantes. En general, se desprende algún trozo de tabique exterior, lo que produce un giro del mampuesto y su colapso, o bien se separan sus paredes exteriores enteras, quedando dividido en 2 o 3 partes. Siempre se produce la rotura en forma brusca, sin aparición de fisuras visibles previas.

Los ticholos 8.25.25 y 12.25.25 del Fabricante C son los únicos que, ensayados a compresión con sus huecos horizontales, llegan al colapso en varios puntos simultáneamente, partiéndose en varios pequeños trozos que, vistos individualmente, sin embargo no presentan grandes alteraciones en su materia. La rotura es también frágil y brusca (**Imágenes 2 y 3**).



IMÁGENES 2 y 3: Probetas C121 y C122, Ticholos 12.25.25 del Fabricante C.

Nota: Se desprenden varios tabiques. Permanecen intactos los tabiques verticales centrales, fallando la unión con los tabiques horizontales.

A pesar de su reducido espesor o grosor, lo que lo convierte en el más esbelto de los mampuestos ensayados y lo que excluye su uso en paredes resistentes –según las “Recomendaciones” de [1], el ticholo 8.25.25

alcanza una tensión de rotura notoriamente superior a la de los otros ticholos en esta posición.

Los ticholos de los Fabricantes A y B presentan una configuración geométrica de huecos cilíndricos. Los ticholos 9.14.19 y 12.17.25 del Fabricante B tienen porcentajes de huecos menores, entre 39 y 42%. El ticholo 12.25.25 del Fabricante B y los ticholos del Fabricante A tienen porcentajes de huecos algo mayores, entre 50 y 55%. Los ticholos del Fabricante C presentan una configuración geométrica de huecos prismáticos y porcentajes de huecos mayores, alcanzando hasta 62%.

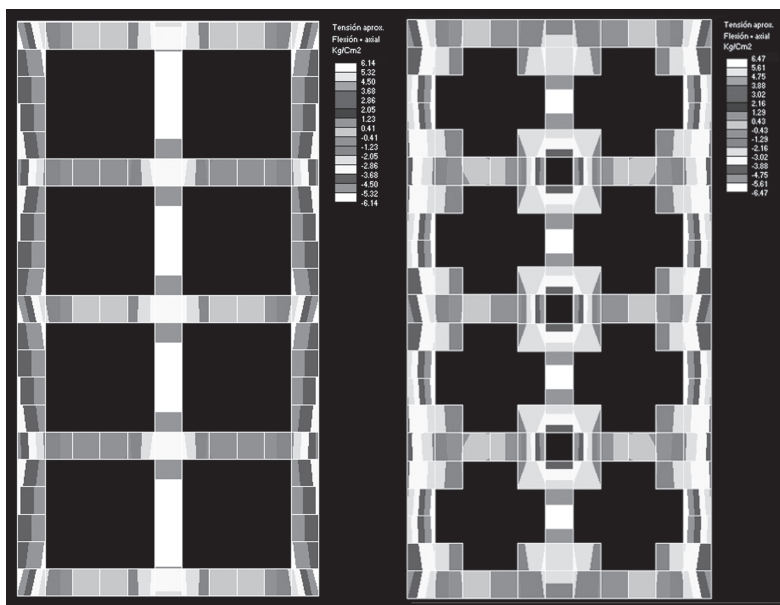


IMAGEN 4: Distribución de tensiones en la masa cerámica según dos configuraciones geométricas de huecos diferentes. Simulación realizada en el programa de elementos finitos AVwin.

Analizando estas configuraciones geométricas sometidas a esfuerzos de compresión en su plano con el programa de elementos finitos AVwin (ver **Imagen 4**), se pone en evidencia la distribución de tensiones resultante en el interior de la masa cerámica. En ambos casos, las

tensiones mayores se concentran en el centro de los tramos de los tabiques verticales, que se encuentran arriostrados por los tabiques horizontales, en los que las tensiones son muy bajas. Son particularmente altas las tensiones en el tabique vertical central.

En el caso de los mampuestos con huecos prismáticos, las zonas de mayores tensiones se extienden a un volumen mayor de la masa cerámica, prácticamente a la totalidad de los tabiques verticales, por lo que aumenta la probabilidad de coincidir con alguna falla o defecto local. Parecerían ser más convenientes los huecos cilíndricos; sin embargo, alcanzaron resistencias mayores los ticholos del Fabricante C. Hay que tener en cuenta que el material cerámico de estos últimos es más denso y presenta menor cantidad de fisuras.

Grificando la resistencia en función de la densidad D , no se observó una clara relación. Se graficó entonces la resistencia en función de la densidad neta D' , observándose una relación directamente proporcional.

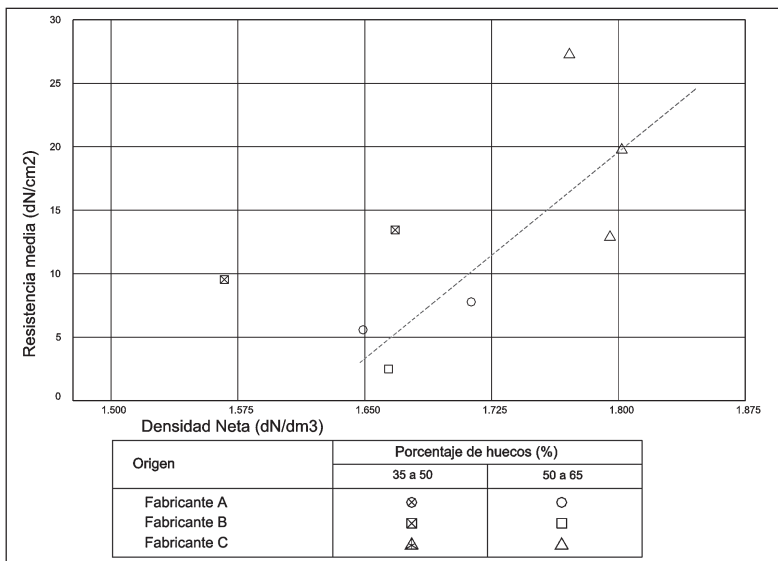
Los ticholos del Fabricante C, con mayores valores de D' , presentan mayores valores de resistencia, escapándose el ticholo 8.25.25 con una resistencia particularmente alta. Las resistencias de los otros ticholos del Fabricante C, de los del Fabricante A y del ticholo 12.25.25 del Fabricante B se distribuyen en forma aproximadamente rectilínea.

Se calcularon las estadísticas de la recta que mejor se ajusta a los datos de resistencia y densidad neta de dichos ticholos utilizando el método de “mínimos de cuadrados”: Resistencia media = $107,0722 \cdot D' - 172,7917$. El coeficiente de determinación lineal (R^2) resultante es de 0,60. Esto indica que el 60% de los valores de resistencia media con los huecos en dirección horizontal puede ser explicado por la densidad neta (D')(ver **Gráfica 3**).

Los ticholos 9.14.19 y 12.17.25 del Fabricante B definen una recta aproximadamente paralela, por encima de la anterior. Hay que tener en cuenta que tienen un porcentaje de huecos menor y que fueron ensayados con su cara mayor como tabla o cara de asiento, por lo que cuentan con cuatro tabiques verticales en vez de tres (**Gráfica 3**).

Las resistencias obtenidas son muy inferiores a los mínimos de 45 y 50 daN/cm² que establecen [1] y la Norma UNE 67019. La resistencia

del ticholo 8.25.25 del Fabricante C se acerca al mínimo de 30 daN/cm² que se recomiendan en [2].



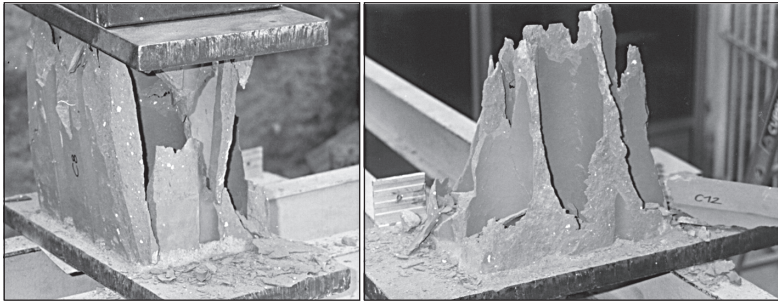
GRÁFICA 3: Resistencia media de ticholos con huecos en dirección horizontal en función de la Densidad Neta

IV.6.2. Resistencia a la compresión de los ticholos con los huecos en dirección vertical

El ticholo sometido a compresión con sus huecos en dirección vertical alcanza valores de tensión mucho más altos que con sus huecos en dirección horizontal. Su comportamiento deja de ser frágil, aparecen numerosas fisuras visibles y se escuchan numerosos estallidos previo a la rotura.

Se observan dos tipos de rotura: en algunos casos, el colapso es provocado por trozos de uno o varios tabiques exteriores que saltan; en otros, se produce la rotura del conjunto como si se tratara de una masa homogénea de material, sin huecos, subdividiéndose en láminas verticales que se separan por efecto de la tracción transversal que acompaña a la compresión. Este segundo tipo de fallo es el que se produce generalmente en las probetas que alcanzan valores de resis-

tencia mayores. Luego del ensayo permanecen dos grandes partes de forma aproximadamente cónica cuyas bases son las caras superior e inferior respectivamente y cuyos vértices tienden al centro de gravedad del mampuesto. La masa cerámica de dichos conos aparece alterada, hojaldrada y el resto de la materia se reduce a pequeñas láminas o a polvo. Hay que tener en cuenta que los encabezados de mortero arriostran los distintos tabiques aumentando la resistencia del mampuesto en la zona de sus caras superior e inferior frente a la expansión lateral. Además, el rozamiento entre las superficies de contacto de los encabezados y las placas de transmisión de carga produce un efecto favorable, por lo que la rotura se produce en la zona media del mampuesto (**Imágenes 5 y 6**).



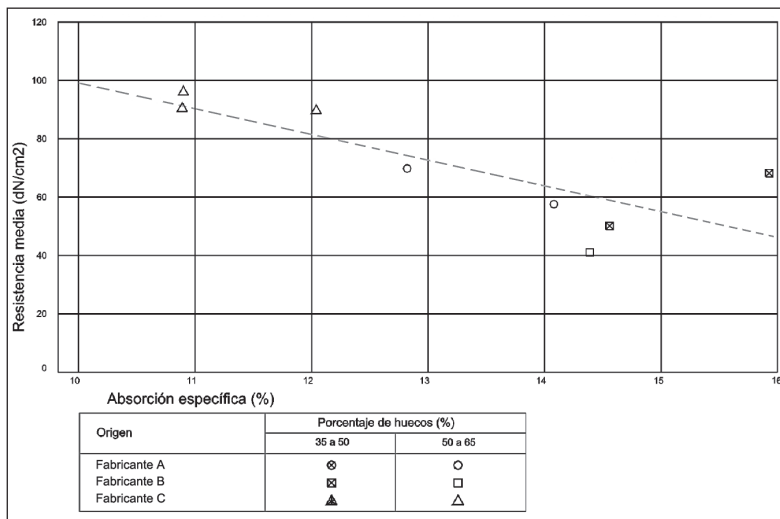
IMÁGENES 5 y 6: Probetas C8 y C12, Ticholos 17.25.25 del Fabricante A. Quedan luego del ensayo dos grandes partes de forma aproximadamente cónica, el resto de la materia se reduce a pequeñas láminas y polvo.

Graficando la resistencia en función de la absorción específica, se observa una relación inversamente proporcional. Los ticholos del Fabricante C, con menores índices de absorción específica, son los que alcanzaron mayores valores de resistencia. Los ticholos del Fabricante B, con índices de absorción específica mayores, son los que rompieron con tensiones más bajas.

Se calcularon las estadísticas de la recta que mejor se ajusta a los datos de resistencia y absorción utilizando el método de “mínimos de cuadrados”:

Resistencia media = $-8,7455 \cdot \text{Absorción específica} + 185,8174$.

El coeficiente de determinación lineal (R^2) resultante es de 0,63. Esto indica que el 63% de los valores de resistencia media con los huecos en dirección vertical puede ser explicado por la absorción específica (**Gráfica 4**).



GRÁFICA 4: Resistencia media de ticholos con huecos en dirección vertical, en función de la absorción específica

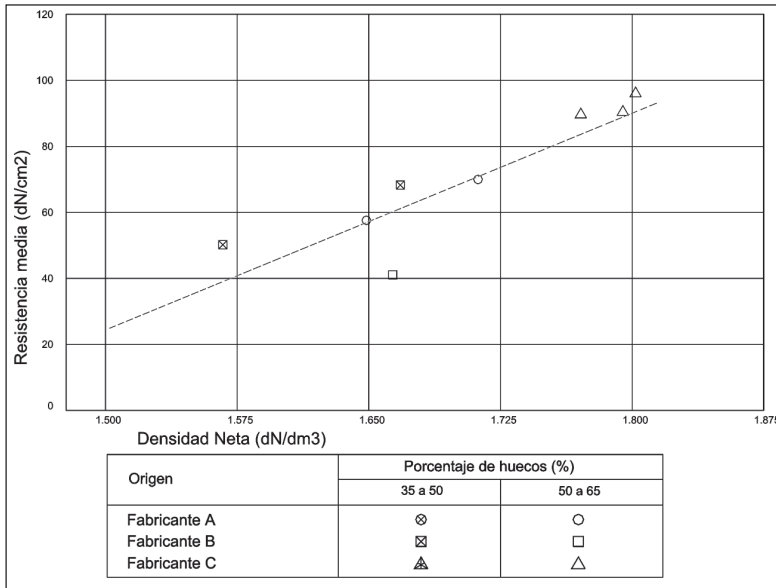
No parece haber relación clara entre la resistencia y la densidad. Se graficó entonces la resistencia en función de la densidad neta, observándose una relación directamente proporcional. Los ticholos del Fabricante C, con mayores densidades netas, alcanzaron los mayores valores de resistencia, en tanto que los del Fabricante B, con menores valores de densidad neta, alcanzaron los valores más bajos de resistencia.

Se calcularon las estadísticas de la recta que mejor se ajusta a los datos de resistencia y densidad neta utilizando el método de “mínimos de cuadrados”: Resistencia media = $222,2968 \cdot D' - 308,3720$.

El coeficiente de determinación lineal (R^2) resultante es de 0,81. Esto indica que el 81% de los valores de resistencia media con los

huecos en dirección vertical puede ser explicado por la densidad específica (D') (**Gráfica 5**).

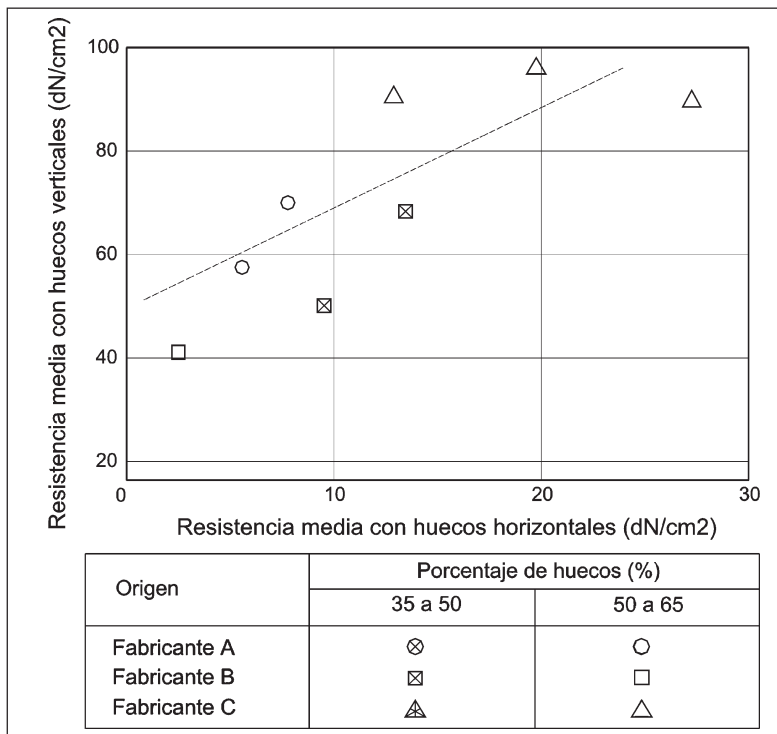
Se observa, entonces, que la resistencia, tanto con los huecos en dirección horizontal como vertical, aumenta en relación a la densidad neta del material, es decir, al peso del material por unidad de volumen sin tener en cuenta los huecos, y disminuye en relación al coeficiente de absorción específica. A mayor compacidad de la masa cerámica, aumenta la densidad neta y disminuye el volumen de poros, por lo que tiende a disminuir la absorción específica y aumentan los valores de resistencia.



GRÁFICA 5: Resistencia media de ticholos con huecos en dirección vertical, en función de la densidad neta

El ticholo 12.17.25 del Fabricante B y los ticholos del Fabricante C cumplen con el valor mínimo de resistencia exigido por la norma UNE 67019 a los ladrillos huecos de 50 daN/cm² para poder ser utilizados en fábricas resistentes. Esos mismos mampuestos, según las exigen-

cias de resistencia de [1], serían mampuestos Clase B y podrían utilizarse para todos los edificios cuya altura sea no mayor que 7 metros y cuyo número de pisos sea no mayor que dos. Ninguno presenta valores de resistencia característica mayores a 80 daN/cm², por lo que ninguno entraría en la clasificación de mampuesto Clase A.



GRÁFICA 6: Resistencia media de ticholos con huecos en dirección vertical, en función de la resistencia media con huecos en dirección horizontal

Se graficó la resistencia con los huecos en dirección vertical frente a la resistencia con los huecos en dirección horizontal y se observó que una aumenta en forma directamente proporcional a la otra, destacándose una mayor resistencia relativa con los huecos en dirección horizontal de los ticholos 9.14.19 y 12.17.25 del Fabricante B (que en esta

posición presentan un tabique vertical más que los otros) y el ticholo 8.25.25 del Fabricante C.

Se calcularon las estadísticas de la recta que mejor se ajusta a los datos de resistencia con los huecos en dirección horizontal y vertical utilizando el método de “mínimos de cuadrados”:

$$\text{Resist media}_{\text{con huecos verticales}} = 1,9491. \text{ Resist media}_{\text{con huecos horizontales}} + 49,4744$$

El coeficiente de determinación lineal (R^2) resultante es de 0,71. Esto indica que el 71% de los valores de resistencia media con los huecos en dirección vertical puede ser explicado por la resistencia media con los huecos en dirección horizontal (ver **Gráfica 6**).

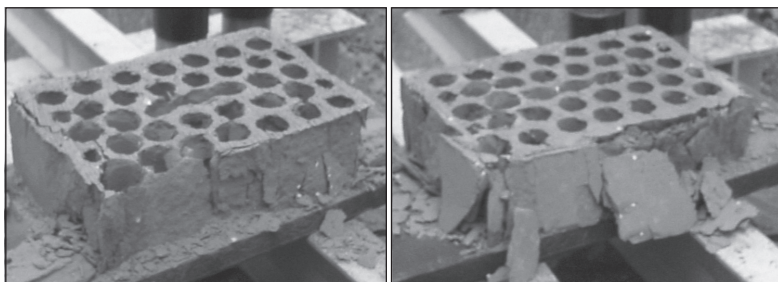
IV.6.3. Resistencia a compresión de los rejillones

Los rejillones sometidos a compresión se rompen subdividiéndose sus tabiques en láminas verticales que tienden a separarse como consecuencia del aplastamiento. Antes de la rotura, se produce el colapso de los tabiques interiores acompañado de numerosos estallidos, comienza la aparición de fisuras verticales visibles en el exterior y finalmente saltan trozos, se abre el mampuesto, las caras externas se separan y se subdivide en láminas verticales desprendiendo gran cantidad de pequeñas partículas y polvo. Las caras superior e inferior conservan su forma original, unidas a los encabezados de mortero que aumentan su resistencia.

Prácticamente toda la masa cerámica aparece alterada luego de la rotura, hojaldrada o reducida a polvo. Se alcanza el agotamiento resistente de la totalidad del mampuesto (**Imágenes 7 y 8**).

Los valores de resistencia alcanzados por ambos rejillones –el del Fabricante A y el del Fabricante C. satisfacen los mínimos requeridos por todas las normativas consultadas. De acuerdo a [1] serían clasificados como mampuestos huecos Clase A, aptos como material resistente para todo edificio.

Sin embargo sus resistencias son inferiores a las alcanzadas por mampuestos similares en otros países. Es común en estos países utilizar arcillas seleccionadas, combinadas y mejoradas con la incorporación de óxidos y hierro, que elevan la resistencia a la compresión.



IMÁGENES 7 y 8: Probetas C40A y C41, Rejillones del Fabricante A. No fueron encabezadas con mortero sus caras superior e inferior por cumplir con los requisitos mínimos de planeidad. Se desprenden los tabiques exteriores. Internamente la masa cerámica aparece hojaldrada con abundante desprendimiento de polvo.

Los ladrillos *klinker* o *gresificados* son el resultado de la cocción de estas arcillas especiales a muy alta temperatura, más de 1100°C, lo que produce el cierre de los poros del material, obteniéndose altas densidades, bajos coeficientes de absorción e inalterabilidad frente a condiciones atmosféricas agresivas; se eliminan las sales que con la humedad ambiente producen eflorescencias y los valores de resistencia a la compresión se elevan. Nuestros fabricantes no cuentan aún con esta tecnología.

Se hizo un estudio estadístico más detallado de la resistencia de los rejillones, para lo cual se realizó un número de ensayos mayor al mínimo requerido por la norma UNE-EN 772-1: se ensayaron 20 probetas. En la **Tabla 9** se resumen los resultados obtenidos.

TABLA 9: Datos estadísticos de los valores de resistencia de los rejillones de los Fabricantes A y C

	Rejillón del Fabricante A	Rejillón del Fabricante C
Resistencia media (0) (daN/cm ²)	86,27	134,81
Varianza muestral (s ²)	364,6241	648,9539
Desviación estándar (s) (daN/cm ²)	19,0951	25,4746
Coefficiente de variación muestral (v) (%)	22,133	18,897
Mediana (daN/cm ²)	87,025	137,400
Coefficiente de asimetría (g1)	-0,2304	-0,2748
Curtosis (g2)	-0,6006	-0,6573
Intervalo de confianza en la estimación de la media	6,8330	9,1158
Resistencia característica (daN/cm ²)	54,95	93,03

En cuanto a los datos estadísticos del rejillón del Fabricante A:

$$\text{Coeficiente de asimetría (g1)} = [(1/n) \Sigma (x_i - 0)^3] / s^3 = -0,2304.$$

El valor -0,2304 indica que la distribución puede considerarse simétrica, con una ligera asimetría hacia la izquierda ($g1 > -0,71$).

$$\text{Curtosis (g2)} = [(1/n) \Sigma (x_i - 0)^4] / s^4 = -0,6006.$$

El valor 0,6006 indica una distribución relativamente plana, con altura pequeña y grandes colas.

$$\text{Análisis de residuos: } R_i = (x_i - 0) / s.$$

Todos los valores están entre 3 y -3, por lo tanto no existen residuos.

$\Sigma R_i = 0,002$, por lo tanto están distribuidos de manera simétrica. Graficados en papel de probabilidad, tendrían una tendencia lineal en orden creciente. Esto señala que no puede ser refutada la hipótesis de normalidad de distribución.

Intervalo de confianza en la estimación de la media:

$$c = 0 \pm 1,96 (s / \sqrt{n}) = 6,8330$$

Para un valor de confianza de 95% el valor de la media es de $86,2723 \text{ daN/cm}^2 \pm 6,8330$.

Es decir, el valor de la media está comprendido entre 79,4393 y 93,1053 daN/cm².

Resistencia característica:

$$f_k = 0 - 1,64 s = 86,2723 - 1,64 \times 19,0951 = 54,9563 \text{ daN/cm}^2.$$

Estimación de parámetros del modelo para distribución normal:

$$f_x = [1 / (s \cdot \sqrt{2\pi})] \cdot e^{-0,5 [(x-0)/s]^2}$$

$$f_x = 0,02089 \cdot e^{-0,5 [(x-86,2723) / 19,0951]^2}$$

En cuanto a los datos estadísticos del rejillón del Fabricante C:

$$\text{Coeficiente de asimetría (g1)} = [(1/n) \Sigma (x_i - 0)^3] / s^3 = -0,2748$$

Indica asimetría hacia la izquierda, no muy marcada ($g1 > -0,71$)

$$\text{Curtosis (g2)} = [(1/n) \Sigma (x_i - 0)^4] / s^4 = -0,6573$$

Indica una distribución achatada, con altura pequeña y grandes colas ($g_2 > -3$)

Análisis de residuos:

Todos los valores están entre 3 y -3, por lo tanto no existen residuos.

$\Sigma R_i = 0,002$, por lo tanto están distribuidos de manera simétrica.

Graficados en papel de probabilidad tendrían una tendencia lineal en orden creciente. Apunta a que no puede ser refutada la hipótesis de normalidad de distribución.

Intervalo de confianza en la estimación de la media:

$$c = 0 \pm 1,96 (s / \sqrt{n}) = 9,1158$$

Para un valor de confianza de 95% el valor de la media es de 134,8100 daN/cm² \pm 9,1158. Es decir, el valor de la media está comprendido entre 125,6942 y 143,9258 daN/cm².

Resistencia característica:

$$f_k = 0 - 1,64 s = 134,8100 - 1,64 \times 25,4746 = 93,0317 \text{ daN/cm}^2$$

Estimación de parámetros del modelo para distribución normal:

$$f_x = 0,01566 \cdot e^{-0,5 [(x-134,8100) / 25,4746]^2}$$

Son particularmente elevados los coeficientes de variación de la resistencia del ticholo 12.25.25 del Fabricante A, con sus huecos en dirección vertical: 50,3%, y del ticholo 12.25.25 del Fabricante B, con sus huecos en dirección horizontal: 29,9%. Esto determina que sus valores característicos de resistencia sean considerablemente inferiores a los valores medios.

En general, se observan en los resultados de los mampuestos de los tres fabricantes estudiados valores por encima del 20%, lo que indica que el control de calidad realizado sobre la producción no es óptimo.

V. Conclusiones y recomendaciones

No existe un control de calidad continuo en la producción de los mampuestos cerámicos huecos, pensados generalmente como material para la confección de tabiquería no portante. Las terminaciones producidas no permiten, la mayoría de las veces, dejar el material a cara vista, siendo necesario recurrir a revoques.

Las distintas fábricas no siguen criterios de estandarización en las dimensiones, lo que permitiría en la etapa de proyecto una óptima coordinación modular con otros componentes constructivos.

En general, presentan desviaciones de forma superiores a lo admitido en las normativas internacionales. Si bien dichas normativas contemplan condiciones tecnológicas de realidades diferentes a la industria de la construcción uruguaya, es necesario considerar que una variación elevada en las dimensiones de los mampuestos implica la necesidad de aumentar en obra el espesor de las juntas de mortero, con el consiguiente aumento en el costo de materiales y mano de obra.

Los coeficientes de absorción y tasas de absorción inicial de agua determinados cumplen con lo recomendado en la bibliografía. Es necesario, previo a la colocación en muros, humedecer los mampuestos. No se especifican en las normativas el procedimiento o los tiempos de humedecimiento.

Se destaca la calidad del material cerámico de los mampuestos del Fabricante C, que presentan valores de densidad y densidad netos superiores a los de los otros fabricantes.

Los valores medidos de resistencia a la compresión de los rejillones y de los ticholos con sus huecos en posición vertical satisfacen las exigencias de las normativas consultadas para poder ser considerados como material apto para uso estructural en la edificación. Los coeficientes de variación detectados indican, en general, que el control de calidad realizado en el proceso de producción no es óptimo.

Se evalúa como incorrecto el diseño de los huecos de los ticholos en general y del rejillón del Fabricante C. En el caso de las perforaciones de los ticholos, su diseño no admite una junta horizontal de sencilla ejecución cuando se colocan en posición vertical. Para colocarlos en esta posición es necesario tapar sus huecos, lo que implica procedimientos

que aumentan el costo de obra, particularmente la mano de obra. Si se confeccionan los muros con los huecos dispuestos en posición horizontal, las resistencias máximas alcanzadas no son en general elevadas.

En el caso de los rejillones del Fabricante C, se evalúa como excesivamente grande el hueco central, y como reducido el espesor de los tabiques exteriores.

Basándome en mi experiencia personal como calculista, considero que con ambos rejillones estudiados podrían llegar a construirse estructuras edilicias de hasta 3 o 4 plantas, sin necesidad de refuerzos de hormigón armado, en zonas sin actividad sísmica como es el caso del territorio uruguayo.

Un correcto diseño de los huecos de los mampuestos permitiría, sin aumentar el porcentaje de huecos, realizar estructuras más elevadas, recurriendo a refuerzos de acero dispuestos horizontalmente en las juntas de mortero y verticalmente utilizando los propios huecos en esta posición.

Se considera imprescindible la normalización del proceso de producción de los mampuestos cerámicos fabricados en Uruguay para poder abastecer el mercado local y para tener posibilidades de proyectarse en el mercado regional. Asimismo, se recomienda investigar en el desarrollo de sistemas constructivos integrales de bajo costo como solución al problema del déficit habitacional en el país, aprovechando las numerosas virtudes de los mampuestos cerámicos huecos enumeradas en este trabajo y optimizándolas, tomando como base el desarrollo que este material ha experimentado en las últimas décadas en otros países, y aplicando los datos obtenidos en la investigación expuesta, representativa de la producción nacional actual. Para ello, se estima imprescindible el trabajo en conjunto con los fabricantes de cerámicos uruguayos en el diseño de nuevas formas y métodos de producción que se ajusten a las posibilidades y necesidades propias de nuestro medio.

Notas

1. Pueden consultarse sus obras completas en: JUNTA DE ANDALUCÍA. Eladio Dieste 1943-1996. Sevilla-Montevideo: Consejería de Obras Públicas y Transportes, Dir.Gral de Arq. y Viv., Depto de Public. ; 2001, ISBN 84-8095-136-2.
2. Ver: Luis García Pardo (2000). Monografías Elarqa nº 6. Montevideo: Editorial Dos Puntos.

Referencias bibliográficas

- [1] INSTITUTO DE ESTRUCTURAS Y TRANSPORTE, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. *Recomendaciones para la construcción en Mampostería Estructural en Uruguay. Parte 1. Mampostería simple*. Montevideo: Facultad de Ingeniería; 1998.
- [2] INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL CEMENTO "EDUARDO TORROJA". *P.I.E.T. 70. Estructuras de fábrica*. Madrid: IETCC; 1971.
- [3] *Pliego General de Condiciones para la recepción de los ladrillos cerámicos en las obras de construcción RL-88*. (Orden Ministerial de 27 de Julio de 1988). Madrid: Ediciones Liteam; 2004.

Documentación normativa

- UNE-EN 772-1. Métodos de ensayo de piezas para fábricas de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión. Edición: AENOR, Madrid, Marzo de 2001.
- UNE-EN 772-11. Métodos de ensayo de piezas para fábricas de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería. Edición: AENOR, Madrid, Marzo de 2001.
- UNE 67-027-84. Ladrillos de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua. Edición: IRANOR, Madrid, Junio de 1984.
- IRAM 12585. Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción. Métodos de determinación de las características geométricas. Edición: IRAM, Buenos Aires, Julio de 1979.
- UNE 67019 EX. Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Definiciones, clasificaciones y especificaciones. Edición: AENOR, Madrid, Octubre de 1996.