

## Análisis numérico-experimental de paredes de mampostería con bloques de cerámica de diferentes espesores en altas temperaturas

F. Bolina<sup>1</sup> , B. Tutikian<sup>1\*</sup> , J. Gonçalves<sup>1</sup> , T. Souza<sup>1</sup> , G. Manica<sup>1</sup> 

\*Autor de Contacto: [btutikian@terra.com.br](mailto:btutikian@terra.com.br)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.415>

Recepción: 01/05/2019 | Aceptación: 11/11/2019 | Publicación: 30/12/2019

### RESUMEN

Este estudio discute la resistencia al fuego de sistemas de sellado vertical compuestos por bloques cerámicos con agujeros verticales en altas temperaturas. La albañilería es ampliamente utilizada en el mercado de la construcción civil por tratarse de un sistema de bajo costo y alta productividad en comparación con los elementos convencionales. Los resultados fueron obtenidos con modelos computacionales de elementos finitos a través del software Ansys Mechanical, calibrados por ensayo experimental de resistencia al fuego a escala real, determinándose el tiempo de resistencia al fuego (TRF) para diferentes geometrías de bloques. Los análisis computacionales llevaron a resultados que apuntan un límite para la eficiencia del aumento de espesor de una pared para alcanzar altos TRF en relación con el aislamiento térmico.

**Palabras clave:** albañilería estructural; incendio; compartimentación.

**Citar como:** Bolina, F., Tutikian, B., Gonçalves, J., Souza, T., Manica, G. (2020), "Análisis numérico-experimental de paredes de mampostería con bloques de cerámica de diferentes espesores en altas temperaturas", Revista ALCONPAT, 10 (1), pp. 22 – 35, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.417>

<sup>1</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2020 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2020.

## Numerical-experimental analysis of ceramic block masonry walls of different thickness at high temperatures

### ABSTRACT

The study discusses the fire resistance of vertical sealing systems composed of ceramic bricks with vertical holes at high temperatures. The masonry sealing construction system is widely used in the Brazilian construction market because it is a low cost and high productivity system compared to conventional elements. The results were obtained with finite element computational models, using the Ansys Mechanical software, calibrated by a real scale experimental test, determining the fire resistance time (FRT) for different block geometries. The computational analysis led to results that point to a limit in efficiency of the wall thickness increase in order to reach a high FRT in relation to the thermal insulation.

**Keywords:** fire resistance time; fire; compartmentation.

## Análise numérico-experimental de paredes de alvenaria de bloco cerâmico com diferentes espessuras em altas temperaturas

### RESUMO

O estudo discute sobre a resistência ao fogo de sistemas de vedação vertical compostos por blocos cerâmicos com furos verticais em altas temperaturas. O sistema construtivo de vedação em alvenaria é amplamente utilizado no mercado da construção civil no Brasil por tratar-se de um sistema de baixo custo e alta produtividade em comparação aos elementos convencionais. Os resultados foram obtidos com modelos computacionais de elementos finitos, através do software Ansys Mechanical, calibrados por ensaio experimental em escala real, determinando-se o tempo de resistência ao fogo (TRF) para diferentes geometrias de blocos. As análises computacionais levaram a resultados que apontam um limite para eficiência do aumento de espessura de uma parede para se atingir TRF elevados em relação ao isolamento térmico.

**Palavras-chave:** tempo de resistência ao fogo; incêndio; compartimentação.

## 1. INTRODUCCIÓN

En 1974, el incendio del edificio Joelma, que ocurrió en São Paulo, Brasil, destacó el riesgo de incendio debido a la ausencia de compartimentaciones horizontales y verticales. La división de áreas es una característica de seguridad contra incendios y su objetivo principal es contener la acción del fuego y, por lo tanto, el desarrollo de las llamas, así como para proteger a los ocupantes presentes de la acción del fuego durante un período de tiempo. Los muros y particiones de mampostería pueden promover la compartimentación entre habitaciones, mitigando la propagación del fuego y el humo entre los ambientes (MARCATTI *et al.*, 2008).

Con la creciente necesidad de construir con calidad y seguridad, especialmente debido a la Norma Brasileña de Desempeño de Edificios, la NBR 15575 (ABNT, 2013), la necesidad de verificar el desempeño de los sistemas de construcción segundo los ítems de (a) sostenibilidad, (b) habitabilidad y (c) seguridad ganó fuerza en Brasil. De acuerdo con NBR 15575 (ABNT, 2013), entre los sistemas que deben cumplir con estos requisitos, los muros deben cumplir con parámetros mínimos de incendio. Además, los requisitos de partición son requeridos por las regulaciones estatales del departamento de bomberos en Brasil, lo que refuerza esta necesidad y requiere que los diseñadores cumplan con los requisitos.

Es común asociar la resistencia al fuego de los elementos de mampostería con su grosor, pero se deben tener en cuenta otros factores, como la cantidad de capas de aire contenidas en los bloques.

Hay una distribución de temperatura compleja en la sección de estos elementos que debería investigarse más a fondo dados los diferentes mecanismos de conducción de calor en ellos. La mampostería también varía según la región de fabricación, cambiando los materiales constituyentes disponibles y el proceso de fabricación local. (ZSEMBERY, 2013).

Para el diseño de mampostería contra incendios, el Eurocodigo 6 (EN 1996-1-2, 2005) permite dos tipos de métodos de dimensionamiento. Uno utiliza datos tabulados, que proporcionan la dimensión de espesor de pared mínima requerida para obtener el tiempo de resistencia al fuego. El segundo método, a través del cálculo que considera el módulo de falla del material en la exposición a altas temperaturas, define las especificaciones del elemento de acuerdo con la temperatura, la tasa de esbeltez y la deformación debido a la expansión térmica restringida. (RIGÃO, 2012).

Teniendo en cuenta que NBR 15220 (ABNT, 2003) utiliza la aparente simplificación de la conducción térmica y presenta un coeficiente para la conducción térmica del aire confinado muy inferior al del aire ventilado, se puede deducir que la razón de esta reducción se debe al transporte por convección y radiación térmica que ocurre entre las caras que generan este confinamiento. También se puede suponer que la explicación de la diferencia aparente en los valores de conducción térmica en los ensayos de Bai (2017) está relacionada con el hecho de que sus muestras con alvéolos más pequeños tienen un mayor número de alvéolos, lo que resulta en más fenómenos de convección y radiación térmica. ocurriendo dentro de la muestra.

Se realizan pruebas de laboratorio para comprender la performance de los sistemas de muros verticales en una situación de incendio y, en consecuencia, para hacer posible el uso. En Brasil, la reglamentación que rige estos testes de resistencia al fuego es la NBR 5628 (ABNT, 2001) para muros con función estructural y NBR 10636 (ABNT, 1989) para muros sin función estructural. De acuerdo con las normas, las pruebas deben realizarse a escala real, lo que hace que el proceso costoso que, sumado al número limitado de hornos verticales en América Latina, limite la recolección técnica en esta área. (RIGÃO, 2012).

Por lo tanto, el desarrollo de modelos teóricos y simulaciones por computadora es necesario para evaluar el comportamiento de la mampostería en una situación de incendio. En estos análisis, la transmisión de calor y el comportamiento mecánico son factores que ocurren en tres dimensiones. Sin embargo, la mayoría de los modelos existentes tienen enfoques bidimensionales que impiden el análisis adecuado de la transmisión de calor por convección y radiación dentro de los bloques de cerámica. (NGUYEN et al., 2009).

Para que el análisis computacional sea más representativo, los modelos computacionales deben calibrarse con los datos obtenidos a través de pruebas experimentales. Los resultados disponibles en las pruebas del sistema de sellado vertical abordan los elementos de estanqueidad (E), aislamiento térmico (I) y resistencia mecánica (R), lo que dificulta la realización de un modelo computacional avanzado, que requiere gran cantidad de informaciónes relevantes. (NGUYEN; MEFTAH, 2012).

Por lo tanto, este trabajo evaluó la influencia de la geometría del bloque cerámico de orificio vertical en la resistencia al fuego de los sistemas de muros verticales en situaciones de incendio utilizando modelos asistidos por computadores, calibrando-los a través de los resultados de las pruebas experimentales de resistencia al fuego de la pared. en escala real, elaborado según NBR 5628 (ABNT, 2001). El estudio se dividió en cinco etapas: (1) introducción; (2) programa experimental; (3) análisis numérico; (4) resultados y discusión; y (5) conclusión.

## 2. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

### 2.1 Construcción de lo prototipo del muro

El muro utilizado como objeto de calibración se llamaba P1. Este sistema tiene dimensiones de 3.15x2.80m y fue construido en un pórtico de metal en el laboratorio, como se muestra en la Figura 1.

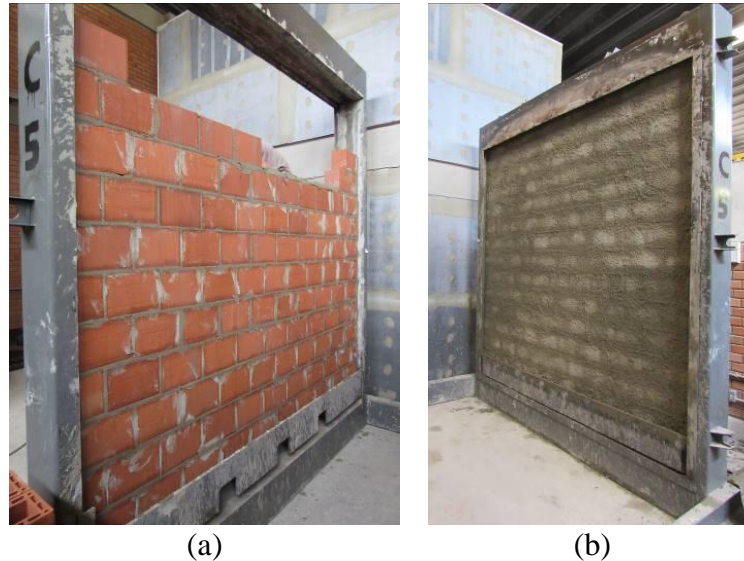


Figura 1. Secuencia de construcción del muro P1.

Para la ejecución del ensayo experimental se aplicaron ladrillos cerámicos de 8 MPa resistencia característica a la compresión, con furos verticales, dimensiones de 14 x 1 9x 29 cm y con junta de mortero con cemento, arena y cal, con 4 MPa de resistencia a la compresión media, además de aditivos para aireadores, estabilizador de hidratación y retenedor de agua.

### 2.2 Instrumentación

Para evaluar la temperatura de la pared durante el ensayo, se utilizaron 5 termopares en la parte expuesta al fuego y 5 termopares en la parte no expuesta al fuego, fijados en esta superficie, como se muestra en la Figura 2. También se agregaron cinco termopares a lo largo del corte del bloque, como se muestra en la Figura 3.

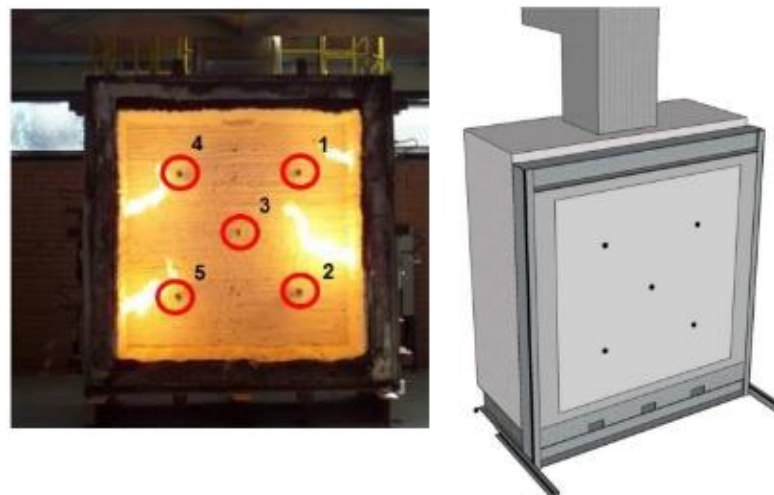


Figura 2. Termopares externos.

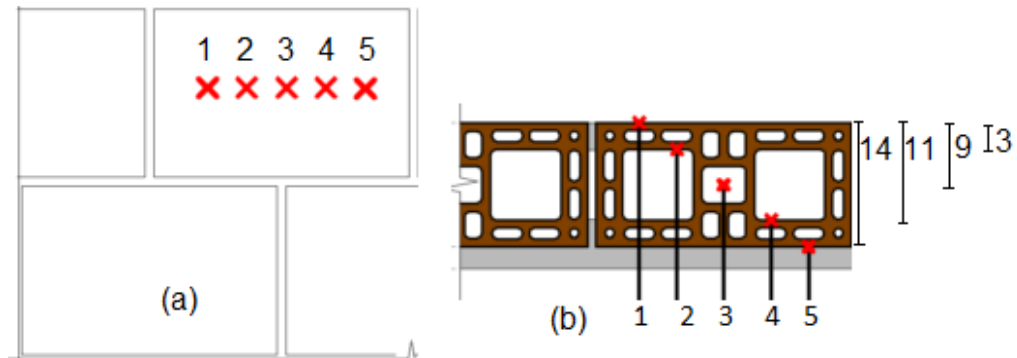


Figura 3. Disposición de los termopares internos en los bloques en (a) corte y (b) planta.

### 2.3 Horno de prueba vertical

La prueba se realizó en el Laboratorio de Seguridad contra Incendios de Unisinos. La pared se probó después de 56 días de curado en un horno vertical. El horno tiene cuatro quemadores dispuestos de acuerdo con la Figura 4, controlados por dos termopares que permiten medir la evolución de la temperatura según ISO 834 (2014). La Figura 4 también muestra la secuencia de montaje e instalación en la pared en el horno de prueba. El horno tiene una chimenea que regula el flujo de los gases generados por el calentamiento y la presión interna durante todo el ensayo, aislamiento térmico compuesto por una manta fibrocéramica y cuatro quemadores de gas, controlados digitalmente por un centro de control digital.

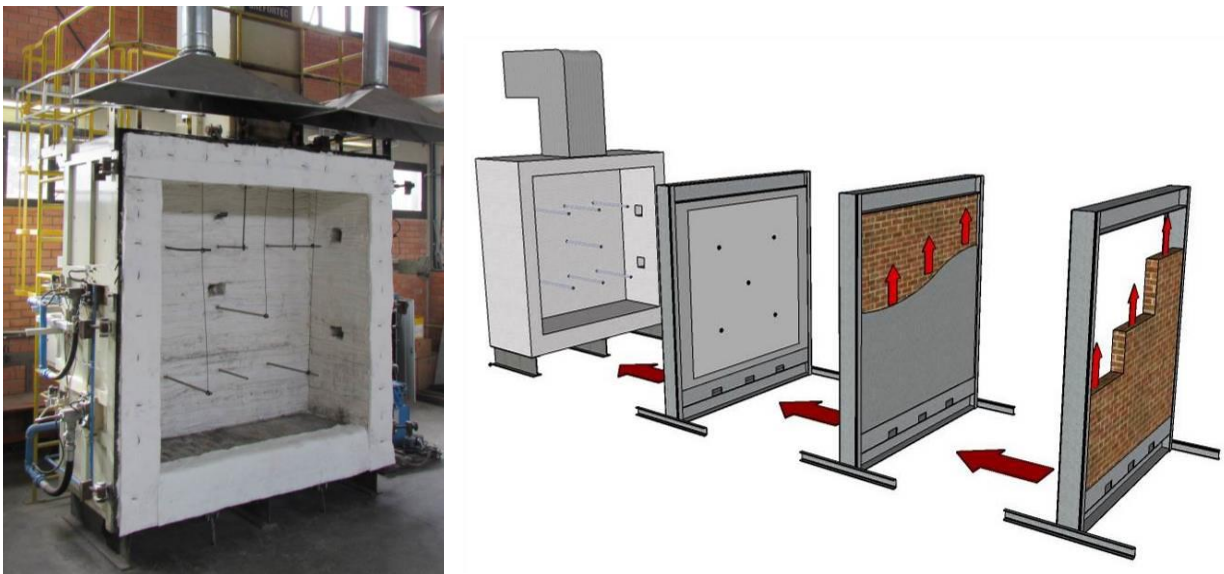


Figura 4. Detalle de la instalación del sistema junto al horno vertical.

## 3. SIMULACIÓN NUMÉRICA

### 3.1 Suposiciones de análisis

Para la elaboración del modelo computacional, se utilizó el programa *Ansys Mechanical Transient Thermal*. En este programa, se generó una malla de elementos, como se muestra en la Figura 5. Cada división contenida en la sección de ladrillo representa un elemento finito a calcular, de modo que el programa realiza una serie de cálculos más pequeños y los agrupa para presentar el resultado final.

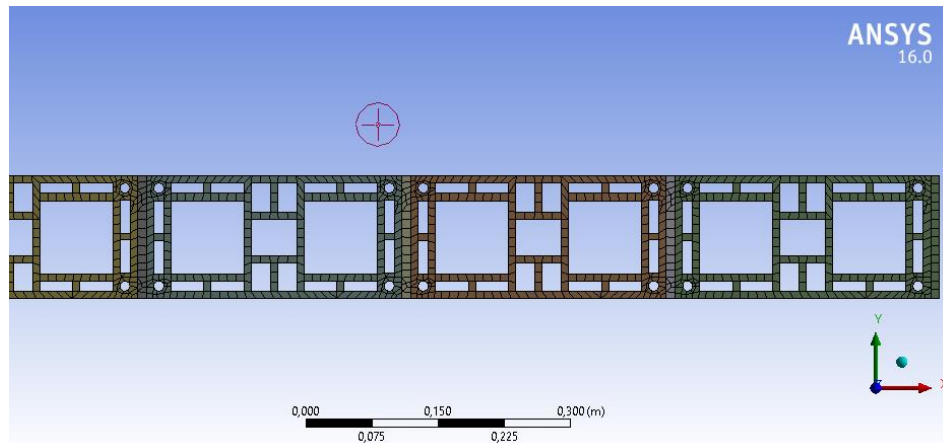


Figura 5. Malla hipotética para análisis computacional.

Los elementos finitos generados por el programa para los análisis numéricos fueron del tipo QUAD\_4, que generan cuatro nodos y representan formas cuadradas cercanas. Los tamaños mínimo y máximo de cada elemento se determinaron manualmente, siendo el elemento más pequeño posible con un lado de 1 mm y el elemento más grande posible con un lado de 50 mm. El mortero fue admitido como un elemento inerte, con iteración completa con el bloque. La conductividad térmica del bloque se proporcionó en función de las temperaturas extraídas del modelo experimental. Esta simulación se realizó en 2 dimensiones, con el único propósito de tener en cuenta las isotermas de los bloques bajo análisis.

Con la malla de cálculo, se insertó la curva de temperatura a la que se debe exponer el muro, siguiendo la curva de ISO 834 (ISO, 2014). La temperatura inicial definida para el análisis computacional fue la misma que la utilizada en la prueba experimental, de 20°C.

### 3.2 Parámetros obtenidos en calibración experimental

Para realizar el análisis experimental, fue necesario utilizar parámetros relacionados con las propiedades térmicas de los materiales involucrados, es decir, densidad, calor específico y coeficiente de conductividad térmica. Los parámetros definidos para la calibración se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros definidos en la calibración.

Parámetro	Valor		
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica (W.C/m)	Calor específico (J.C/kg)
<b>Aire</b>	1,125	0,025	1005
<b>Mortero</b>	1709	0,9	1550
<b>Ladrillo</b>	1200	2,5	880

Para la definición de los valores de convección, en vista de su variación con el aumento de la temperatura, el ladrillo se dividió en dos regiones, como se muestra en la Figura 6, y para cada uno de ellos se asignó un valor de coeficiente de conductividad térmica de acuerdo con la evolución del tiempo de prueba cuando las temperaturas aumentaron. Los coeficientes utilizados se muestran en la Tabla 2.

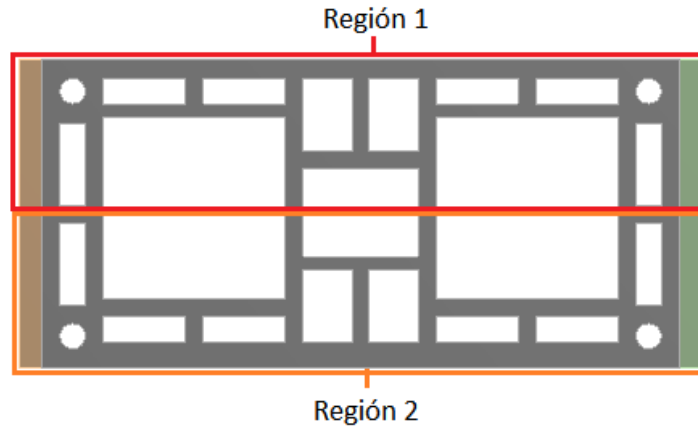


Figura 6. Regiones definidas para coeficientes de convección.

Tabla 2. Coeficientes de convección térmica.

Región del ladrillo	Tiempo de ensayo			
	30 min	60 min	120 min	240 min
<b>Región 1</b>	30 (W.C/m)	14 (W.C/m)	9 (W.C/m)	4 (W.C/m)
<b>Región 2</b>	0,7 (W.C/m)	20 (W.C/m)	6 (W.C/m)	0,5 (W.C/m)

Estos valores fueron extraídos del modelo experimental, alimentando la simulación computacional.

### 3.3 Puntos de lectura de temperatura

Los puntos de lectura de temperatura en el bloque fueron los mismos que los asumidos experimentalmente, como se muestra en la Figura 7. Los termopares 3 y 4, que no se muestran en la Figura 7, se usaron para medir los resultados de la temperatura del aire en el modelado computacional, no de los bloques.

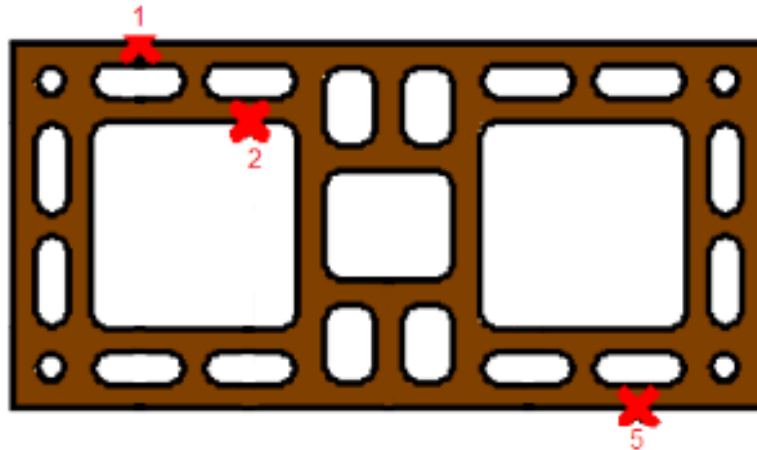


Figura 7. Puntos admitidos.

### 3.4 Modelo de calibración y validación.

Para la validación del modelo computacional, a través del análisis experimental en horno vertical, las variables fueron alimentadas por los parámetros de densidad, conductividad térmica, calor específico y convección térmica, extraídos de la prueba. A través de esta información, el modelo computacional se calibró con datos experimentales, que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Temperaturas alcanzadas en el modelo de calibración

Puntos	Tiempo			
	30 min	60 min	120 min	240 min
En el punto 1	833 °C	945 °C	1047 °C	1151 °C
En el punto 2	321 °C	608 °C	701 °C	846 °C
En el punto 3	46 °C	95 °C	237 °C	417 °C

La validación del modelo ocurrió a través de los valores obtenidos en el análisis numérico con los análisis experimentales.

### 3.5 Extrapolación de resultados experimentales.

Con la calibración realizada de acuerdo con el resultado experimental, comenzó el proceso de extrapolación computacional para otras geometrías de ladrillos. Para ello, se admitieron tres espesores comerciales de ladrillos cerámicos de 11,5, 14 y 19 cm. Para cada uno de estos espesores se definieron 3 ladrillos, con variaciones en el número de alvéolos y, por lo tanto, en el porcentaje de vacíos. Se propusieron tres geometrías distintas, pero el grosor de las paredes internas del ladrillo era constante, con 9 mm en el exterior y 8 mm en el interior, como se muestra en la Figura 8.

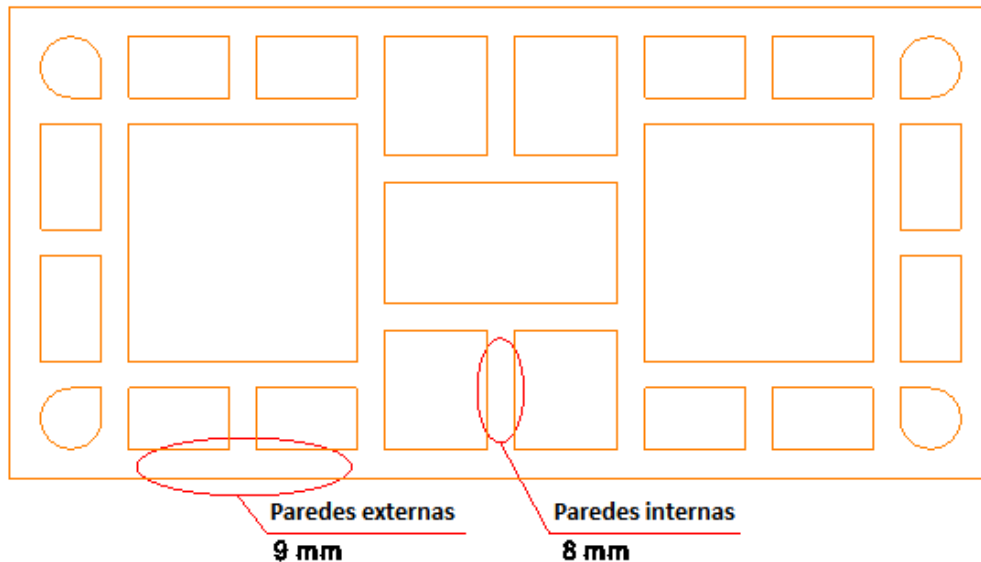


Figura 8. Paredes internas y externas de los ladrillos.

La familia de ladrillos de 11.5 cm de espesor se llamaba BL1; de 14 cm de grosor BL2; y el 19 cm de grosor BL3. Las variaciones porcentuales de huecos (vacíos) dentro de la misma familia de ladrillos se calcularon utilizando la relación entre el área bruta y el área neta, y se refirieron a los índices I, II y III. La Figura 9 detalla los ladrillos utilizados en este estudio. Los ladrillos se nombraron secuencialmente de BL1 a BL3. Se observa que los ladrillos con índices de II (BL1-II, BL2-II y BL3-II) se encuentran en el mercado, los comerciales. A partir de ahí, se propusieron ladrillos con alvéolos más pequeños y ligeramente más grandes, aquellos con índice I (BL1-I, BL2-I y BL3-I), y ladrillos con alvéolos grandes y pequeños, aquellos con índice III (BL1-III), BL2-III y BL3-III).



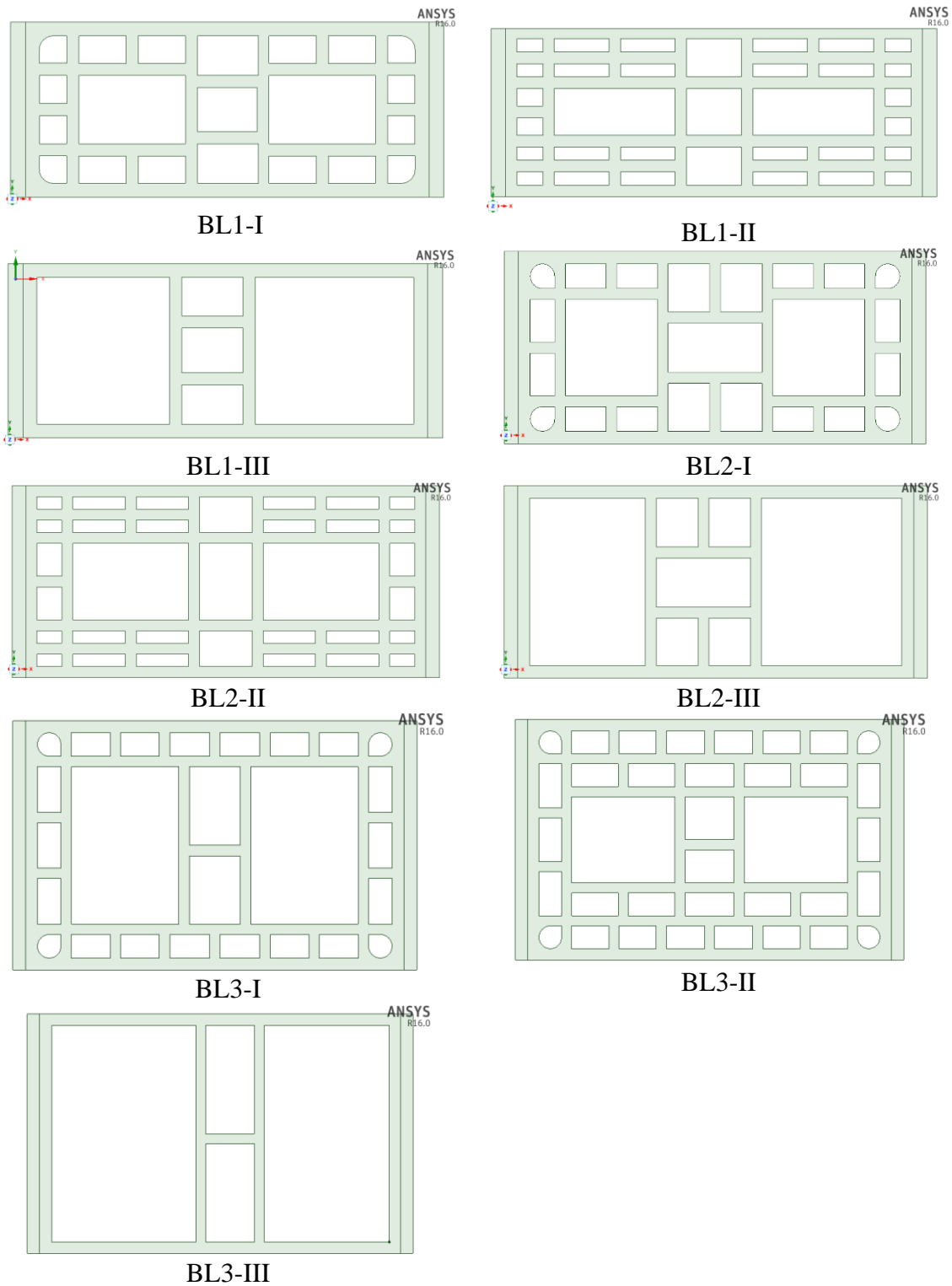


Figura 9. Ladrillos empleados

La Tabla 4 muestra las nomenclaturas, medidas y volumen vacío (%) calculados para cada tipo de ladrillos cerámicos.

Tabla 41. Ladrillos empleados en las simulaciones de computador.

Nombre del ladrillo	Dimensiones (cm)	Total vacíos (%)
BL1-I	11,5 x 19 x 26,5	54,24
BL1-II	11,5 x 19 x 26,5	43,72
BL1-III	11,5 x 19 x 26,5	71,42
BL2-I	14 x 19 x 26,5	54,2
BL2-II	14 x 19 x 26,5	58,6
BL2-III	14 x 19 x 26,5	72,82
BL3-I	19 x 19 x 26,5	64,36
BL3-II	19 x 19 x 26,5	57,39
BL3-III	19 x 19 x 26,5	79,03

### 3.6 Tiempo de análisis de las isotermas

Las isotermas de los ladrillos en el programa computacional se calcularon a los 30, 60, 90, 120, 180 y 240 minutos. Para definir el tiempo de resistencia al fuego (TRF) de cada ladrillo, la temperatura límite de 200°C (180 + 20 ° C) en la cara no expuesta al fuego se definió para un termopar aislado, basado en los preceptos de NBR 10636 (ABNT, 1989).

## 4. RESULTADOS

Como el criterio predominante para la definición de TRF es la temperatura de la cara no expuesta del ladrillo, estas mediciones se usaron con la temperatura límite de 200 ° C en esta cara. Se recogieron isotermas de ladrillo en el programa computacional a los 30, 60, 90, 120, 180 y 240 minutos. La Figura 10 presenta las isotermas de algunos de los ladrillos utilizados en este estudio y, en la Figura 11, la comparación entre todos los ladrillos, con variación en la geometría, porcentaje de vacíos y espesores.

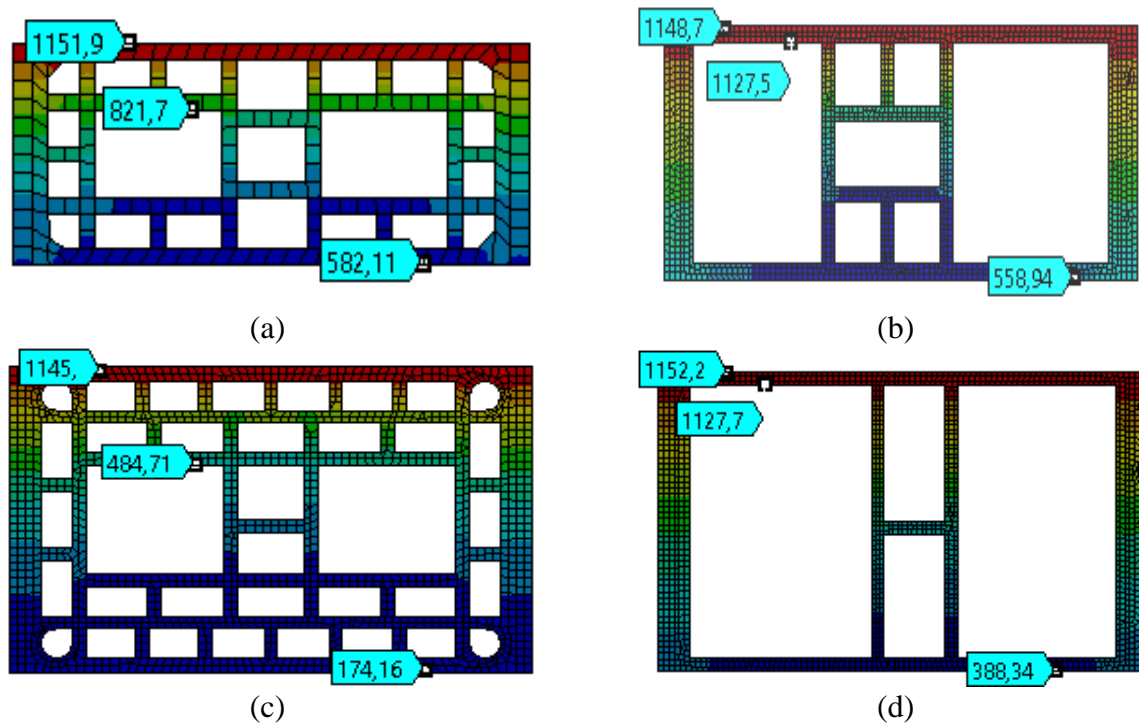


Figura 10. Isotermas de bloque (a) BL2-I, (b) BL2-III, (c) BL3-II e (d) BL3-III a 180 minutos.

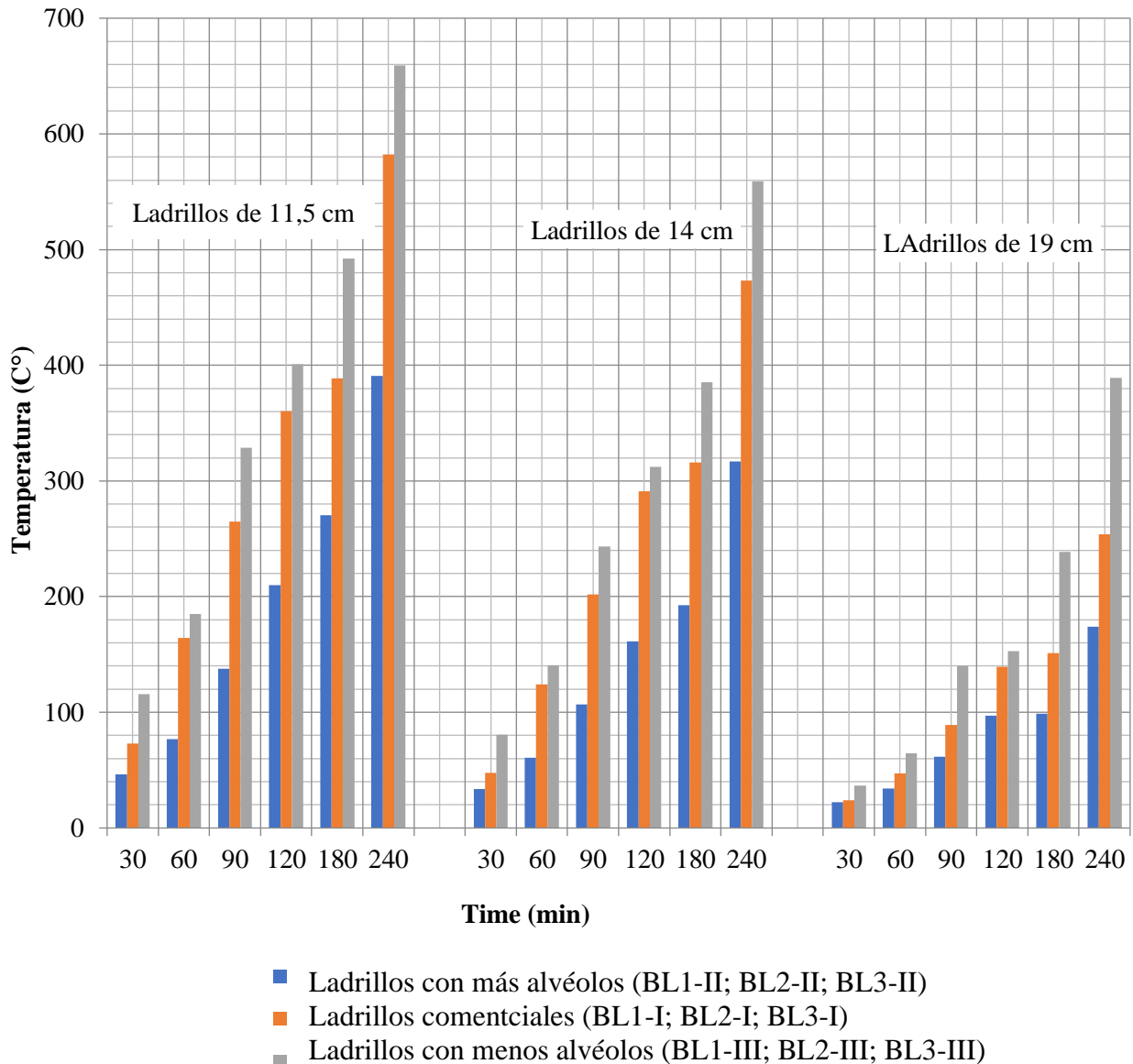


Figura 11. Comparación entre las temperaturas en la cara no expuesta de todos los bloques.

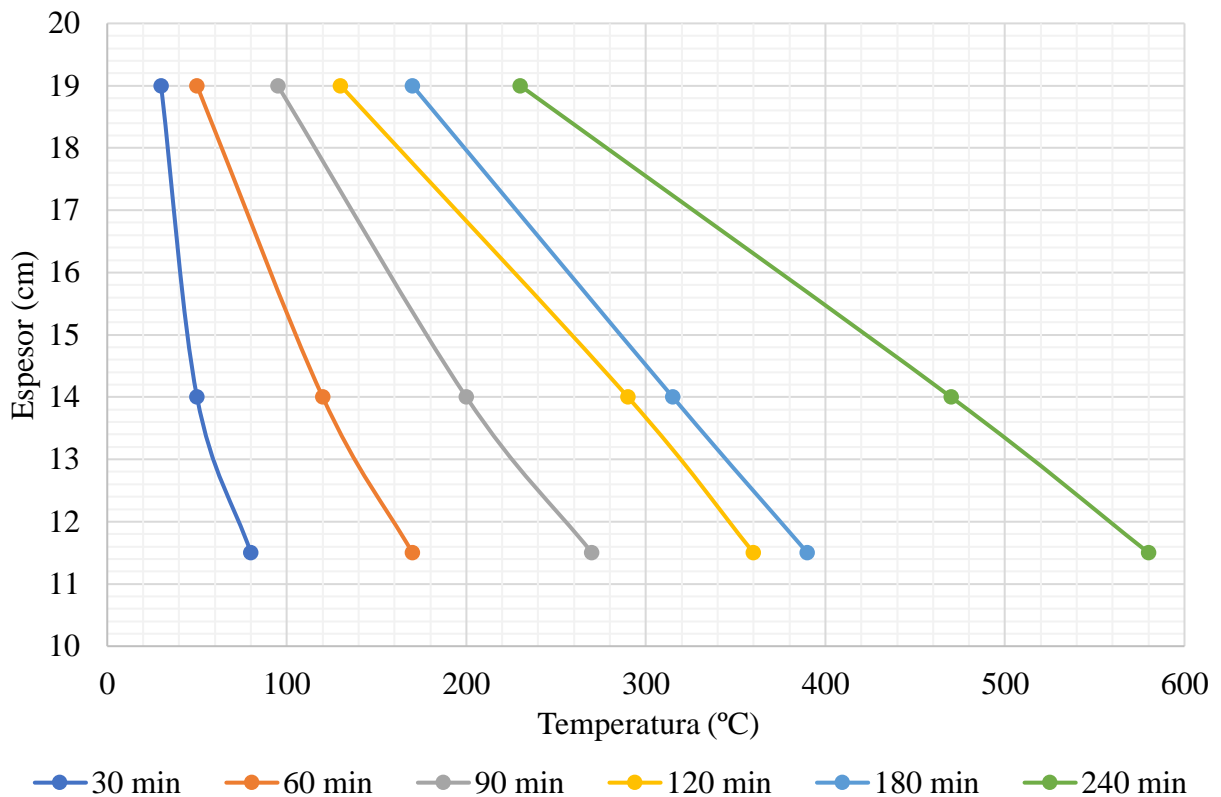
Mirando la Figura 11, es posible ver que los alvéolos tienen una gran influencia en el aislamiento térmico de los ladrillos, especialmente a temperaturas más altas. Se observó que elegir un ladrillo con un mayor número de alvéolos puede ser una opción más efectiva que elegir un ladrillo más grueso cuando se desea un TRF alto, en línea con lo que concluyó Lee (2017), ya que la influencia de los alvéolos en un ladrillo se vuelve prácticamente nula a bajas temperaturas. Considerando la respuesta de los modelos, se encontró que a temperaturas elevadas los fenómenos convectivos e irradiativos que ocurren dentro de los ladrillos son más relevantes que la conducción térmica, que ocurre a través del material. Esto se refuerza con el concepto de NBR 15220 (ABNT, 2003) de que el aire confinado es un excelente aislante térmico.

A partir de los resultados de la Figura 11, fue posible extrapolar los valores de vacío requeridos para cumplir con un tiempo de aislamiento térmico (TIT) para cada tipo de ladrillo, presentado en la Tabla 5. La extrapolación se realizó realizando solo el ajuste de la forma del ladrillo, basado en el que había sido calibrado por medios experimentales.

Tabla 5. Determinación de TIT a partir del porcentaje de vacíos en un ladrillo

Espesor del ladrillo	Porcentaje máximo de vacíos para un TRF en minutos					
	30	60	90	120	180	240
11,5 cm	79,11%	86,64%	45,95%	42,17%	40,25%	30,95%
14 cm	81,73%	80,71%	62,89%	58,30%	53,08%	45,96%
19 cm	84,90%	84,90%	84,90%	84,90%	74,02%	59,62%

Para fines de comparación, también se generaron curvas de la evolución de la temperatura en la cara no expuesta en los ladrillos del índice II, para hacer una comparación de la influencia de los espesores de ladrillos, presentada en la Figura 12.



30 min: $L = 23,843e^{-0.01T}$ $R^2 = 0,9787$	60 min: $L = 22,768e^{-0.004T}$ $R^2 = 0,9948$	90 min: $L = 24,566e^{-0.003T}$ $R^2 = 0,9985$	120 min: $L = 25,136e^{-0.002T}$ $R^2 = 0,9869$	180 min: $L = 26,21e^{-0.002T}$ $R^2 = 0,9907$	240 min: $L = 26,337e^{-0.001T}$ $R^2 = 0,9912$
---	--	--	---	--	---

Figura 12. Curvas de los ladrillos BL1-II, BL2-II e BL3-II.

A partir de estas curvas fue posible determinar el espesor deseado relacionado con TIT para los muros, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Determinación de TIT a partir del espesor de un ladrillo

Espesor mínimo para un TRF						
TRF (min)	30	60	90	120	180	240
Espesor (cm)	11,5	11,5	14	19	19	-

La Tabla 6 presenta espesores mínimos de pared que cumplen con el Eurocode 6 (EN 1996-1-2, 2005), lo que refuerza la validación de los parámetros utilizados. Al observar los datos generados a partir del análisis de la influencia del grosor de un bloque, es posible verificar que este factor tenga una buena influencia para los TIT más bajos. Sin embargo, después de 90 minutos, este parámetro tiende a tener una tasa de incremento TIT más baja.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo, la resistencia al fuego de los ladrillos cerámicos utilizados para los muros de mampostería se analizó mediante el método de elementos finitos utilizando el programa Ansys Mechanical. Los ladrillos probados por software se moldearon en una configuración no revestida con juntas de mortero de 1 cm, variando solo el grosor y el número de alvéolos en cada simulación. Los análisis computacionales condujeron a resultados que señalan un límite a la eficiencia del aumento del espesor de la pared para alcanzar altos TRF en relación con el aislamiento térmico. También fue posible demostrar la variación de aislamiento térmico al aumentar el número de alvéolos dentro de un bloque. Por lo tanto, fue posible verificar la importancia de los procesos de convección y radiación térmica en el aspecto de seguridad contra incendios, que son más relevantes que la conducción térmica del material en cuestión.

Cuando se realiza un análisis solo de grosores de ladrillo, los resultados convergen con la tabla de diseño Eurocode 6 (EN 1996-1-2, 2005). Cuando se considera el número de celdas, la ganancia potencial en resistencia térmica sin variar el grosor de un bloque cumple con los conceptos de confort térmico que se presentan en NBR 15220. Este hecho refuerza la relevancia de usar este concepto en la elaboración de un estándar brasileño para el diseño estructural de mampostería contra incendios.

## 6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989). *ABNT NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). *ABNT NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). *ABNT NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro.
- Bai, G. et al. (2017). *Study on the Thermal Properties of Hollow Shale Blocks as Self-Insulating Wall Materials*. *Advances in Materials Science and Engineering*, v. 2017, p. 12.
- Ehrenbring, H. Z., Quinino, U., Oliveira, L. S., Tutikian, B. F. (2019), *Experimental method for investigating the impact of the addition of polymer fibers on drying shrinkage and cracking of concrete*. *Struct. Concr.* 20, 1064–1075. doi:10.1002/suco.201800228.
- European Committee Standardization (2005). *Eurocode 6: Design of masonry structures: Part 1-2: General rules – Structural fire design*. Brussels.
- Gil, A., Pacheco, F., Christ, R., Bolina, F. L., Khayat, K. H., Tutikian, B. F. (2017), *Comparative study of concrete panels' fire resistance*. *Aci Mater. J.* 114, 755–762.
- International Organization for Standardization (2014). *ISO 834-11: Fire resistance tests - Elements of building construction - Part 11: Specific requirements for the assessment of fire protection to structural steel elements*. Switzerland.
- Lee, L. S. H., Jim, C. Y. (2017). *Subtropical summer thermal effects of wirerope climber green walls with different air-gap depths*. *Building and Environment*, v. 126, p. 1–12.

- Marcatti, J., Coelho Filho, H. S., Berquó Filho, J. E. (2008), *Compartimentação e afastamento entre edificações*. In: SEITO, A. I. et al (Coord.). A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora.
- Nguyen, T. D. et al. (2009), *The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks*. Fire Safety Journal, v. 44, n. 4, p. 629–641.
- Nguyen, T. D., Meftah, F. (2012), *Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis*. Fire Safety Journal, v. 52, p. 55–64.
- Pacheco, F., Souza, R., Christ, R., Rocha, C., Silva, L., Tutikian, B. F. (2018), *Determination of volume and distribution of pores of concretes according to different exposure classes through 3D microtomography and mercury intrusion porosimetry*. Struct. Conc. 19, 1419–1427. doi:10.1002/suco.201800075.
- Rigão, A. O. (2012), *Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas*. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Zsembery, S., Lawrence, S. (2013), *Manual 2 - The Properties of Clay Masonry*. Think Brick. Austrália.