

Paredes de albañilería estructural expuestas a altas temperaturas con medidas de control de dilatación

J. Menegon*¹ , A. G. Graeff¹ , L. C. P. Silva Filho¹ 

*Autor de Contacto: menegonjulia@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.440>

Recepción: 24/09/2019 | Aceptación: 11/11/2019 | Publicación: 30/12/2019

RESUMEN

Este estudio evalúa el comportamiento de paredes de bloques estructurales cerámicos a altas temperaturas. Se utilizaron bloques de 14 y 19 cm de ancho, con resistencias de 7 y 10 MPa. Se evaluaron los espesores de las juntas, el mortero para asentamiento y la influencia de revestimiento en la cara expuesta. Se midieron las temperaturas del horno, en el interior y en la superficie de las paredes, la dilatación de los bloques y el aplastamiento de las juntas. Se pudo inferir que las muestras presentaron buen desempeño, manteniendo su estanqueidad, aislamiento y resistencia mecánica. La restricción lateral no ocasionó descascaramiento de los bloques, sin embargo, se pudo observar transferencia de tensión entre ellos para morteros poco flexibles. Las mamposterías de 19 cm de ancho y aquellas revestidas presentaron mejor desempeño térmico.

Palabras clave: altas temperaturas; albañilería estructural; paredes de mampostería; bloques cerámicos; resistencia al fuego.

Citar como: Menegon, J., Gao Graeff, Â., Silva Filho, L. C. P. (2020), " *Paredes de albañilería estructural expuestas a altas temperaturas con medidas de control de dilatación*", Revista ALCONPAT, 10 (1), pp. 97 – 113gg, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.440>

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 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, Página Web: 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.

Structural masonry walls exposed to high temperatures with thermal expansion control

ABSTRACT

This study evaluates the behavior of small clay hollow-bricks walls exposed to high temperatures. Blocks measuring 14 and 19 cm thick were used, with strengths of 7 and 10 MPa. The thickness of the joints, the mortar, and the coating influence was evaluated. The temperatures of the furnace, the interior and the surface of the walls, the expansion of the blocks and the crushing of the joints were measured. It was possible to infer that the samples presented good performance, maintaining their integrity, thermal insulation, and load-bearing capacity. The restriction of the boundaries did not cause the spalling of the blocks, however, it was possible to observe the stress transfer to them in samples with rigid joint mortar. The masonry measuring 19 cm wide and the ones with coating showed better thermal performance.

Keywords: high temperatures; structural masonry; masonry walls; clay hollow-bricks; fire resistance.

Paredes de alvenaria estrutural expostas a altas temperaturas com medidas de controle da dilatação

RESUMO

Este trabalho analisa o comportamento de miniparedes executadas com blocos estruturais cerâmicos em elevadas temperaturas. Utilizaram-se blocos de 14 e 19 cm de largura, com resistências de 7 e 10 MPa. Foram avaliadas as espessuras das juntas, a argamassa de assentamento e a influência de revestimento na face exposta. Mensurou-se as temperaturas do forno, no interior e na superfície das paredes, a dilatação dos blocos e o esmagamento das juntas. Pôde-se inferir que as amostras apresentaram bom desempenho, mantendo sua estanqueidade, isolamento e resistência mecânica. A restrição lateral não ocasionou deslocamento dos blocos, porém, pôde-se observar transferência de tensão para os mesmos para argamassas pouco flexíveis. As alvenarias de 19 cm de largura e aquelas revestidas apresentaram melhor desempenho térmico.

Palavras-chave: altas temperaturas; alvenaria estrutural; paredes de alvenaria; blocos cerâmicos; resistência ao fogo.

1. INTRODUCCIÓN

A menudo, los ensayos requeridos por normas técnicas y realizados en laboratorio para muros sometidos a alta temperatura ignoran los esfuerzos internos que surgen debido a las limitaciones de las expansiones térmicas inducidas por la temperatura en los elementos en un caso real (LI et al., 2015). Esto se debe a que algunos reglamentos, como el brasileño (ABNT, 2001), para realizar una prueba de resistencia al fuego de muros, portantes o no, recomiendan que los bordes laterales de la muestra tengan su movimiento sin restricciones, lo que les permite expandirse lateralmente. Sin embargo, las normas internacionales como ISO 834-4 (1994) y BS 476 (1987), aunque sugieren el uso de bordes verticales libres, permiten el uso de restricciones laterales, siempre que el experimentador observe que esto corresponde a la situación real a la que está sometida la pared. En particular, la norma británica mencionada anteriormente recomienda el uso de restricciones de borde vertical si la muestra de la pared es más pequeña que las dimensiones reales del elemento, o si en la obra esta pared está ubicada entre columnas robustas. Con base en estas normas y otros estudios, se observa que simplemente descuidar las características reales de las paredes a ensayar

En el laboratorio puede distorsionar significativamente el resultado final. Shieids et al. (1988), por ejemplo, analizaron los diferentes modos de deformación térmica de un modelo de pared de mampostería de pequeño tamaño y observaron que la deflexión máxima para una situación dada depende de las condiciones de contorno a las que está sujeto el elemento, es decir, varía de acuerdo con la restricción al desplazamiento de los bordes de la muestra. Lo mismo han observado Nguyen y Meftah (2012), quienes, midiendo las deformaciones en diferentes puntos de las paredes ensayadas, obtuvieron deformaciones distintas para diferentes condiciones de contorno, evidenciando la influencia de los apoyos en el comportamiento térmico del elemento.

La preocupación por las restricciones aplicadas a las muestras surge del hecho de que los esfuerzos internos causados por la expansión térmica impedida en situaciones de incendio real generan efectos poco conocidos. En una investigación realizada en un edificio sometido a un incendio, se pudo observar casos de descascaramiento de ladrillos cerámicos (NAVARRO; AYALA, 2015). En ese caso, los elementos no tenían una función portante. Por lo tanto, surge la necesidad de comprender bajo qué circunstancias se producen los descascaramientos, qué mecanismos los desencadenan y cuáles son las posibles consecuencias de este fenómeno en el comportamiento de la estructura cuando la mampostería tiene función portante, ya que dicha técnica constructiva se usa ampliamente en los edificios de varios pisos.

La motivación de este trabajo, por lo tanto, reside en la necesidad de comprender mejor el comportamiento de los muros estructurales de mampostería frente a altas temperaturas, ya explorados en otros estudios como Souza (2017), Al-Sibahy y Edwards (2013) y Ayala (2010), incluyendo el concepto de tensiones internas causadas por las restricciones de las expansiones térmicas, para que se conozca el daño a los elementos en casos reales. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento presentado por pequeñas paredes de mampostería cuando se exponen a altas temperaturas y cargas axiales, y su expansión térmica se restringe lateralmente, para simular condiciones cercanas a la realidad de la exposición en una situación de incendio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Se utilizaron tres tipos distintos de bloques: los de 7 y 10 MPa con 14 cm de ancho y los de 7 MPa con 19 cm de ancho, todos hechos de material cerámico, para esta investigación (Figura 1). Las dimensiones y otras características de los bloques se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1 - Propiedad de los bloques cerámicos utilizados.

ID	Resistencia Característica	Dimensiones (l x h x c)	Resist. de la pila (mortero f_m 4MPa)	Área neta/Área bruta
B1	7 MPa	14 x 19 x 29 cm	≈ 3,5 Mpa	≈ 0,41
B2	10 Mpa	14 x 19 x 29 cm	≈ 6,0 Mpa	≈ 0,48
B3	7 MPa	19 x 19 x 29 cm	≈ 3,0 Mpa	≈ 0,36

Fuente: Adaptado de <http://www.pauluzzi.com.br/produtos.php>

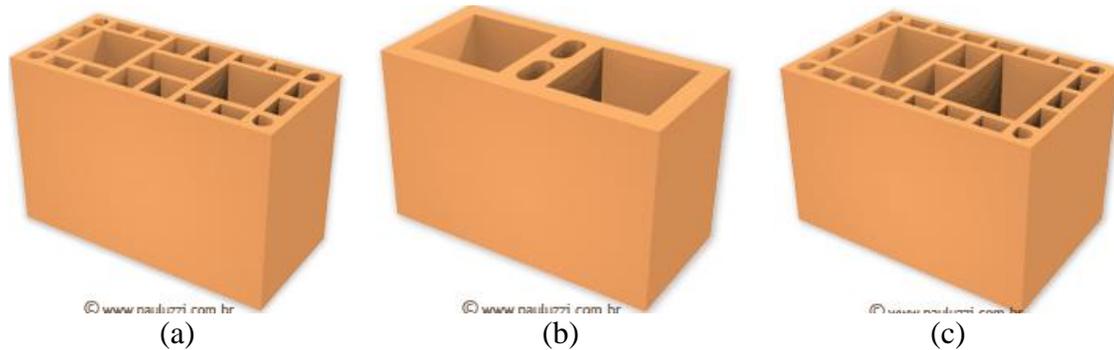


Figura 1. Bloques cerámicos portantes utilizados. (a) B1. (b) B2. (c) B3.
(Fuente: <<http://www.pauluzzi.com.br/produtos.php>>)

Para las juntas de las muestras, se utilizaron morteros industrializados tradicionales con resistencias de 4, 6 y 10 MPa, según el bloque empleado. También se evaluó el uso de mortero polimérico para colocar los bloques, con el fin de verificar su comportamiento cuando se somete a una acción excesiva de calor y carga, observando las consecuencias para la mampostería en su conjunto. En una de las etapas de investigación, las muestras fueron recubiertas con mortero. Se utilizó para este mortero material industrializado de aproximadamente 1 cm de espesor.

2.2. Programa experimental

El programa experimental se llevó a cabo en tres etapas: en la primera etapa se compararon los tres tipos de bloques utilizados; en la segunda, se evalúa el espesor y la resistencia del mortero de las juntas y la presencia de recubrimiento para el mismo bloque; finalmente, en la tercera etapa, se evalúa el uso de mortero polimérico en las juntas de colocación. Los detalles de cada paso se describen a continuación.

2.2.1. Primera Etapa

En la primera etapa, se expusieron al fuego las pequeñas paredes con los tres tipos diferentes de bloques, con morteros de resistencia correspondientes a lo sumo a 70% de las resistencias a la compresión características de los bloques. Tanto los tendeles como las llagas en esta etapa se rellenarán con los morteros especificados en la Tabla 2, con un grosor de 10 ± 3 mm, sin aplicación de ningún tipo de recubrimiento.

Tabla 2. Muestras de la primeira etapa de ensayos – Grupo 01.

Pared	Bloque utilizado	Mortero utilizado	Espesor de la junta
P1	B1	$f_m \approx 4,0\text{MPa}$	10 ± 3 mm
P2	B2	$f_m \approx 6,0\text{MPa}$	10 ± 3 mm
P3	B3	$f_m \approx 4,0\text{MPa}$	10 ± 3 mm

2.2.2. Segunda Etapa.

En la segunda etapa, solo se usó el bloque B1, de 14 cm de espesor y con resistencia de 7 MPa. En esta etapa se evaluó el grosor de las juntas, el mortero utilizado en la colocación de los bloques y la presencia de recubrimiento.

En un caso (P4), la junta de colocación horizontal se redujo a 5 mm de espesor, manteniendo la resistencia a la compresión del mortero en 4 MPa. Posteriormente, la resistencia a la compresión del mortero se incrementó a 10 MPa, con el espesor de la junta mantenido en 10 mm (P5).

Finalmente, se impuso una última situación en esta etapa: la aplicación del recubrimiento. En una muestra hecha con las mismas características que P1, se aplicó un recubrimiento de mortero de 10 mm de espesor. Tal recubrimiento se realizó solo en la cara expuesta al fuego, para no perjudicar

el posicionamiento de la instrumentación en la otra cara.

Por lo tanto, se probaron más tres configuraciones de pared y se compararon con las muestras P1, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Muestras de la segunda etapa de ensayos – Grupo 02.

Pared	Bloque utilizado	Mortero utilizado	Espesor de la junta
P1	B1	$f_m \approx 4,0\text{MPa}$	$10 \pm 3 \text{ mm}$
P4	B1	$f_m \approx 4,0\text{MPa}$	$\approx 5\text{mm}$
P5	B1	$f_m \approx 10,0 \text{ MPa}$	$10 \pm 3 \text{ mm}$
P6	B1	$f_m \approx 4,0\text{MPa}$ y Recubrimiento	$10 \pm 3 \text{ mm}$

2.2.3. Tercera Etapa

Para esta etapa de ensayo, se evaluaron muestras construidas con mortero polimérico en la junta de colocación, en comparación con las construidas con mortero tradicional. En la construcción de estas paredes, se usó el bloque de 10 MPa (B2) para facilitar la aplicación del mortero polimérico, ya que tienen paredes sólidas. Por lo tanto, la comparación se realizó en relación con la pared P2, ya que se hicieron con el mismo bloque que aquella. Las características de la muestra se presentan en la Tabla 4.

Es de destacar que, aunque las juntas verticales de mampostería construidas con mortero polimérico suelen ser de llaga en seco, para esta investigación también se aplicó el producto verticalmente, con el objetivo de mantener la estanqueidad de las mini paredes contra la acción de altas temperaturas y garantizar la seguridad durante la realización del ensayo.

Tabla 4. Muestras de la tercera etapa de ensayos – Grupo 03.

Pared	Bloque utilizado	Mortero utilizado	Espesor de la junta
P2	B2	$f_m \approx 6,0\text{MPa}$	$10 \pm 3 \text{ mm}$
P7	B2	Polimérico	-

2.3. Pequeñas paredes

Las paredes fueron construidas con los bloques y morteros especificados en el ítem 2.1 y dimensiones de 90 x 80 cm, debido a las restricciones en el tamaño del horno, y son, por lo tanto, pequeñas paredes. Estas fueron construidas sobre un perfil de metal, con una placa plegada en forma de U, para facilitar su movimiento. Para que las cargas se apliquen y distribuyan uniformemente a lo largo de la pared, se encabezaron las muestras con mortero rico en cemento, tanto en la parte superior como en los lados, obteniendo así una superficie plana.

Las muestras se curaron, al menos, durante 56 días, de modo que la humedad presente en el mortero de asiento se redujo y los resultados no se vieron alterados por los efectos que estarían presentes solo en las edades tempranas. De la misma manera, en las muestras que fueron recubiertas, se realizó después de al menos 7 días desde la construcción de las pequeñas paredes, y luego de, al menos, 56 días hasta que se realizaron los ensayos.

Las muestras se acomodaron para la prueba dentro de un pórtico de carga diseñado para soportar tensiones aplicadas y evitar expansiones laterales. También se ha proyectado para permitir la aplicación de carga vertical distribuida para simular la carga de un muro estructural. Es un marco hecho de perfiles de riel, con dos gatos hidráulicos acoplados: uno para aplicación de carga vertical y otro para confinamiento lateral. Ambos se unieron a las celdas de carga para controlar los incrementos sufridos. El esfuerzo realizado por los gatos hidráulicos se distribuyó en las caras de las paredes mediante perfiles metálicos. El dibujo esquemático del equipo proyectado y ensamblado se puede ver en la Figura 2.

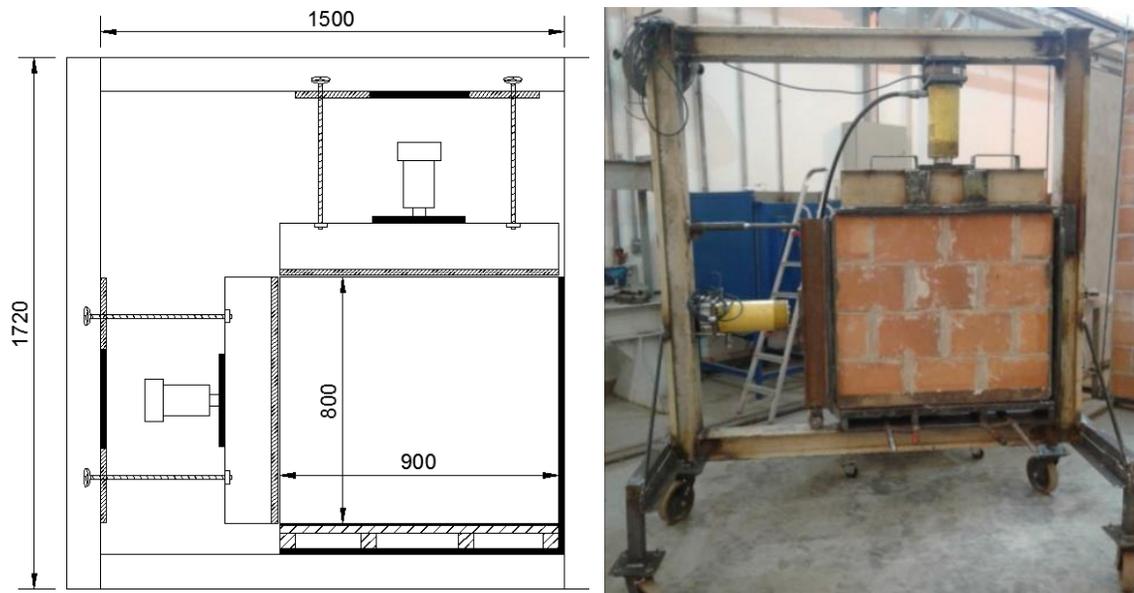


Figura 2. Marco de reacción utilizado en los ensayos.

Una vez colocada en el marco de reacción, la muestra se acopló a un horno de resistencia eléctrica Sanchis para que una de sus caras se sometiera a calentamiento. En la cara no expuesta, se colocaron los instrumentos para controlar la temperatura y el desplazamiento.

La carga aplicada a las muestras se estimó de acuerdo con los requisitos de norma brasileña NBR 6120 - *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações* (ABNT, 1980). Por lo tanto, se aplicó una carga de 97,83 kN/m a la muestra antes del comienzo de la prueba de resistencia al fuego, aumentando después de empezar el calentamiento debido a los intentos de expansión.

2.4. Temperaturas

Debido a limitaciones del equipo disponible en el laboratorio, el ensayo especificado por la norma brasileña NBR 5628 (ABNT, 2001) se ha adaptado para paredes pequeñas que se ajustan al tamaño del horno disponible. La temperatura del horno se elevó a una rapidez similar a la curva normalizada descrita por la norma anterior hasta un máximo de 950°C, el calentamiento alcanzado en un incendio real. Las paredes se mantuvieron a dicha temperatura durante aproximadamente 4 horas.

Para verificar la integridad de las muestras, se realizó la prueba del disco de algodón, descrita en la NBR 5628 (ABNT, 2001) cuando necesario. El aislamiento térmico se verificó mediante el uso de termopares de punta con disco de cobre para medir la temperatura en la cara no expuesta de las muestras, según lo recomendado en la NBR 5628 (ABNT, 2001). Además de los termopares colocados en el exterior de las muestras, se colocaron termopares tipo K a lo largo del grueso de la pared para obtener valores de temperatura dentro del horno y dentro de los bloques. En total, se distribuyeron siete termopares, cinco de ellos en la cara externa, para el control del aislamiento térmico, y los otros para obtener informaciones adicionales (Figura 3).

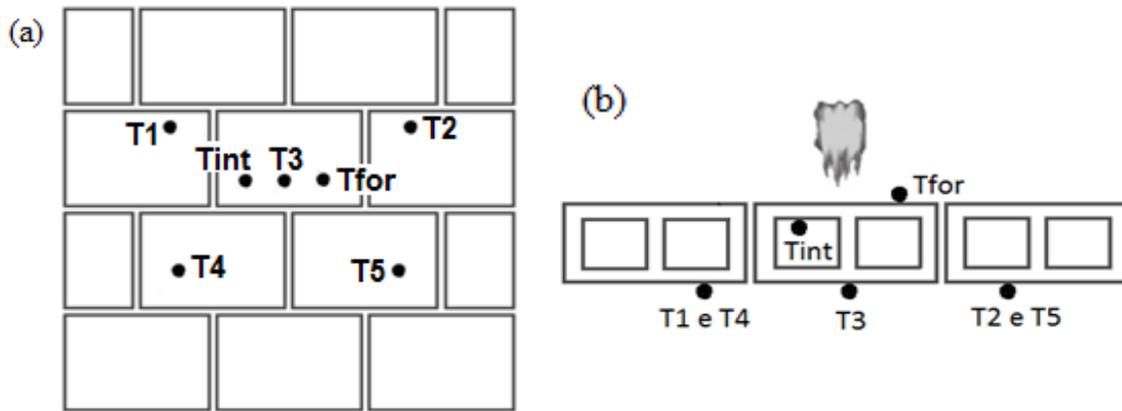


Figura 3. Posición de los termopares en las muestras. (a) Vista frontal. (b) Vista superior.

2.5. Desplazamientos Longitudinales

Por medio de transductores de desplazamiento, o *clip-gages*, colocados en la cara no expuesta de un bloque central de las pequeñas paredes, se midieron las deformaciones horizontales y verticales durante el calentamiento. Estos dispositivos se fabricaron en base a los utilizados por Beber (2003) y consisten en arcos con extensómetros en sus caras inferior y superior (Figura 4). Estos arcos se fijan a la superficie cuyos desplazamientos desean medirse y luego, se correlaciona la deformación específica determinada por los medidores de deformación en la sección central de los arcos con los desplazamientos relativos entre los puntos fijos A y B.

La separación o la aproximación entre diferentes bloques de la misma hilada y hiladas consecutivas también se midió mediante el uso de *clip-gages* en las juntas, lo que proporciona un indicador de la absorción de los desplazamientos causados por la deformación térmica en el mortero. La posición de los medidores de clip en las muestras se describe en la Figura 4.

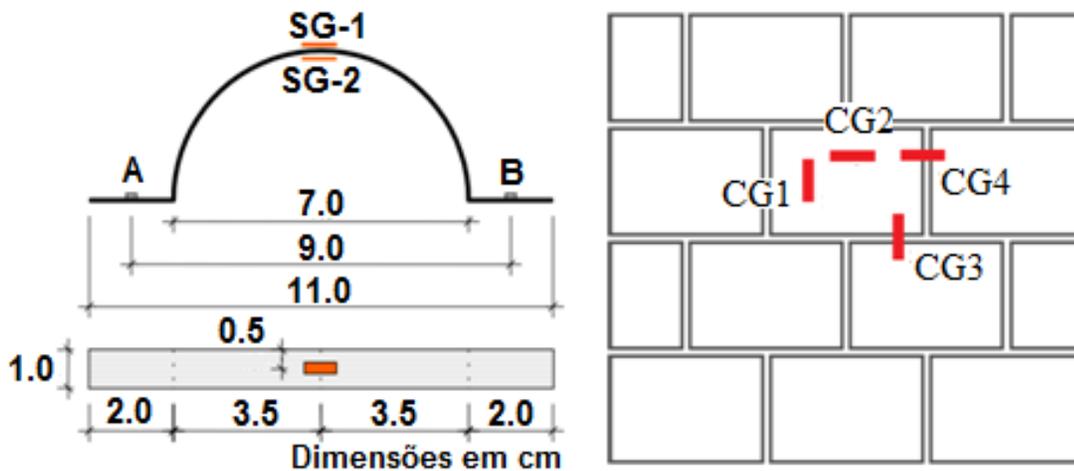


Figura 4. Geometría de los *clip-gages* (BEBER, 2003) y posición en las paredes.

2.6. Termografía

También se realizó un análisis termográfico de las muestras durante la exposición a la carga térmica. El uso de esta técnica permitió el mapeo de la temperatura a lo largo de la superficie de las muestras mediante la detección, por medio de una cámara termográfica FLIR T440, de la radiación infrarroja emitida por ellas cuando se calientan. A través de este equipo se pudo monitorear la elevación de temperatura durante toda la prueba e identificar zonas de posibles daños a la albañilería. También permitió realizar una comparación de la propagación de calor en los diferentes tipos de muros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Temperatura de las muestras

La Figura 5 muestra la evolución de la temperatura dentro de los bloques (Tint) para las primeras tres configuraciones de pared, con el objetivo de comparar los tres tipos de bloques. Para los bloques B1 y B2, los resultados para el termopar intermedio alcanzaron un máximo de 600°C. La pared P3 presentó valores inferiores a 600°C, lo cual se debió al hecho de que fue construida con el bloque B3, más ancho que los demás.

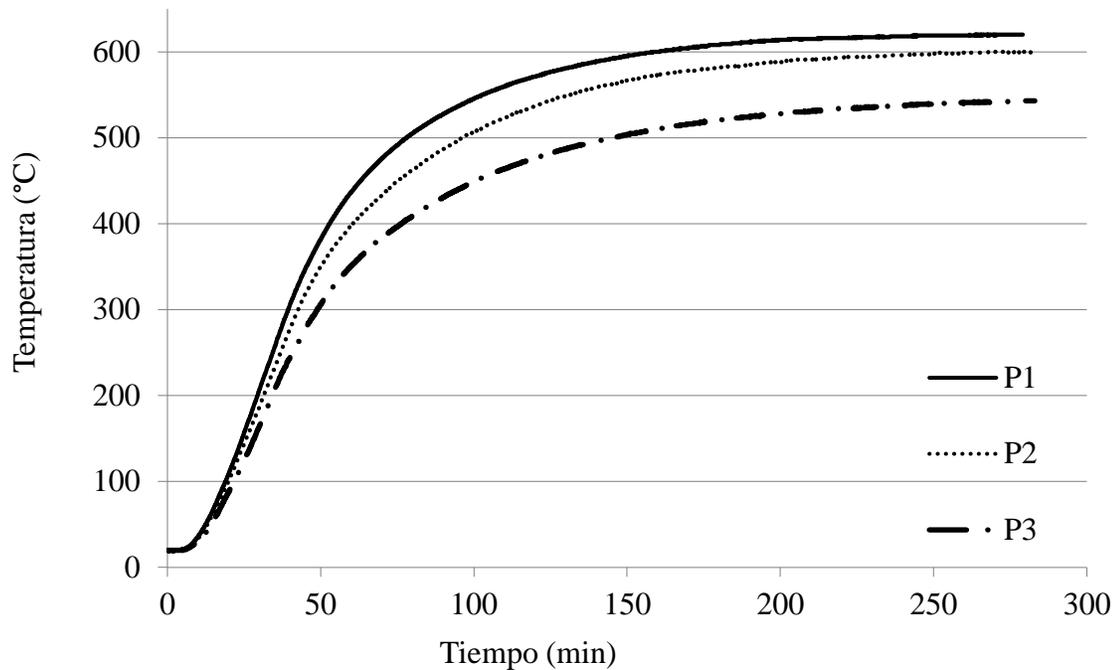


Figura 5. Temperatura dentro de la mampostería para los diferentes bloques (Grupo 01).

Al comparar las muestras de la segunda etapa, se puede ver en la Figura 6 que el grosor de las juntas y la resistencia de sus morteros no influyen en la transferencia de calor, con las paredes P1, P4 y P5 presentan temperaturas dentro de los bloques cercanas a 600°C. Sin embargo, al agregar recubrimiento en la cara expuesta, la reducción de temperatura es significativa, llegando a menos de 400°C para la pared P6.

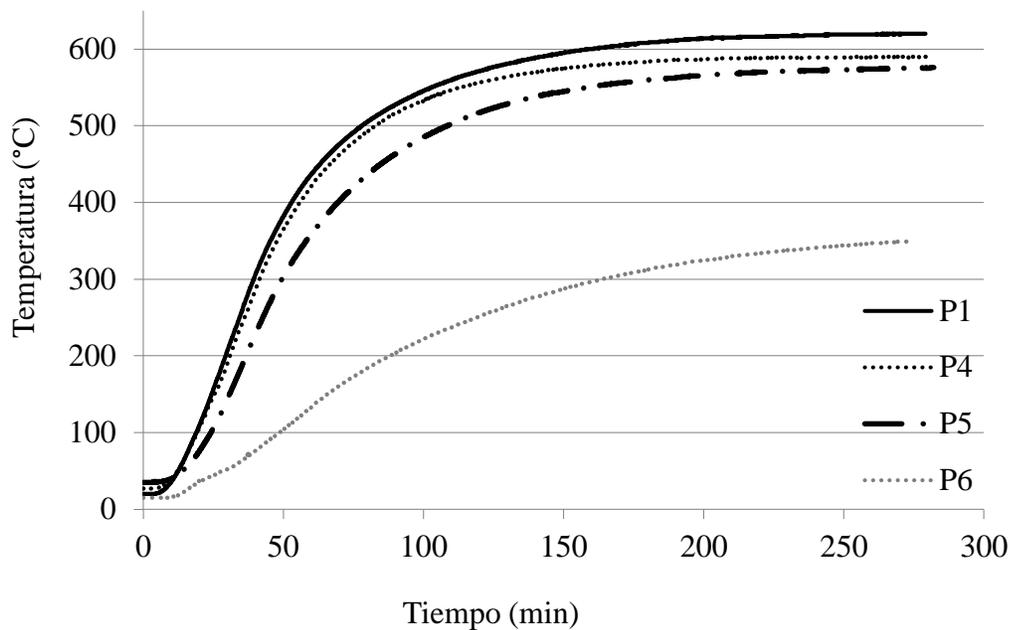


Figura 6. Temperatura dentro de la mampostería para las diferentes juntas de asiento y revestimiento (Grupo 02).

Otra vez, el tercer grupo de muestras indica que la junta no influye en el flujo de calor a lo largo del grueso de la pared, ya que los resultados para las lecturas de termopar internas a los bloques de pared P2 y P7 fueron muy similares (Figura 7). El uso de mortero polimérico, por lo tanto, no genera ningún daño o beneficio en este sentido.

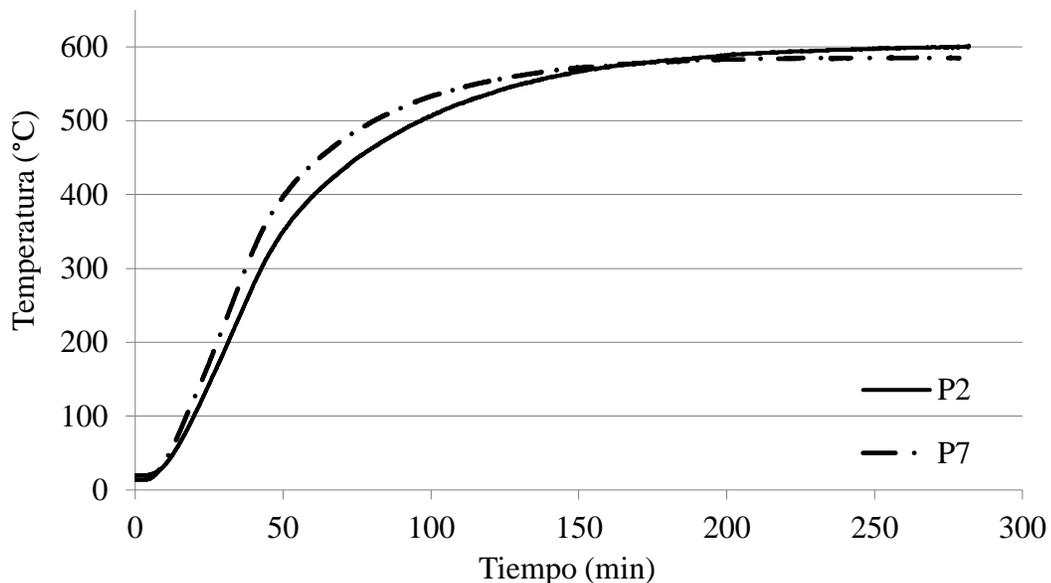


Figura 7. Temperatura dentro de la mampostería para juntas con mortero tradicional y polimérico (Grupo 03).

Las temperaturas máximas registradas en la cara no expuesta al calor están representadas en la Figura 8. Los valores, en general, permanecieron alrededor de 140 a 160°C. Las excepciones son la muestra P3, hecha con el bloque más grueso (B3), y P6, con revestimiento en su cara expuesta.

Esta última mantuvo temperaturas por debajo de 90°C, mostrando otra vez el aislamiento que el recubrimiento proporciona al elemento, incluso si se aplica solo en una de sus caras. Estos resultados corroboran los datos obtenidos por Nguyen y Meftah (2012) y Souza (2017), quienes de manera similar encontraron temperaturas significativamente más bajas en mampostería con caras recubiertas. Los primeros, a su vez, también identificaron cierta influencia del aumento del grosor del bloque en el aislamiento térmico de la mampostería. Como se esperaba, la resistencia del bloque y las juntas no tienen una influencia significativa en los resultados de temperatura de la mampostería probada.

Con respecto al cumplimiento de los criterios de comportamiento ante el fuego de la norma brasileña NBR 14432 (2001b), ninguna de las muestras incumplió los requisitos para determinar el Tiempo de Resistencia al Fuego requerido durante el ensayo: integridad, aislamiento térmico y capacidad portante.

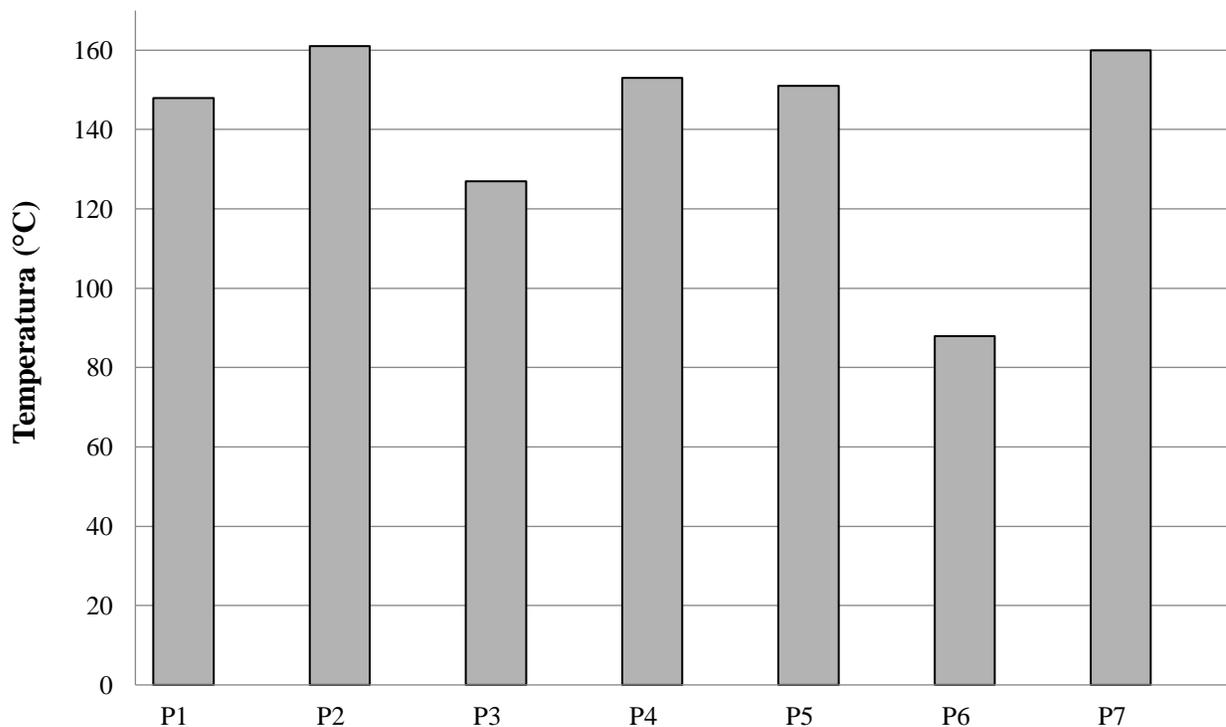


Figura 8. Máxima temperatura en la cara no expuesta.

3.2. Imágenes termográficas.

Se seleccionaron imágenes termográficas capturadas a cada 25 minutos hasta los primeros 50 minutos de ensayo (Figuras 9 a 11). Los análisis se realizaron con fines comparativos entre las mamposterías. En imágenes, las regiones más claras representan las temperaturas más altas.

A través de las imágenes, fue posible ratificar el mejor aislamiento térmico de las muestras con un bloque de 19 cm de grosor (P3) y con recubrimiento en la cara expuesta (P6).

Para la muestra con la cara calentada recubierta, el calentamiento de la región no expuesta se retrasó y se suavizó. Es posible ver en la captura de 25 minutos de la Figura 11, sin embargo, puntos de temperatura más alta en la porción superior. Esto se atribuye al agrietamiento y desprendimiento local del mortero de recubrimiento, que ha permitido la mayor propagación de calor en estas regiones.

La diferencia en el color y, por lo tanto, en la temperatura que se puede ver entre las primeras imágenes (tiempo 0 min) de cada figura se refiere a las diferentes temperaturas ambientales en los días de los ensayos, que varían mucho a lo largo del año en la región donde se tomaron.

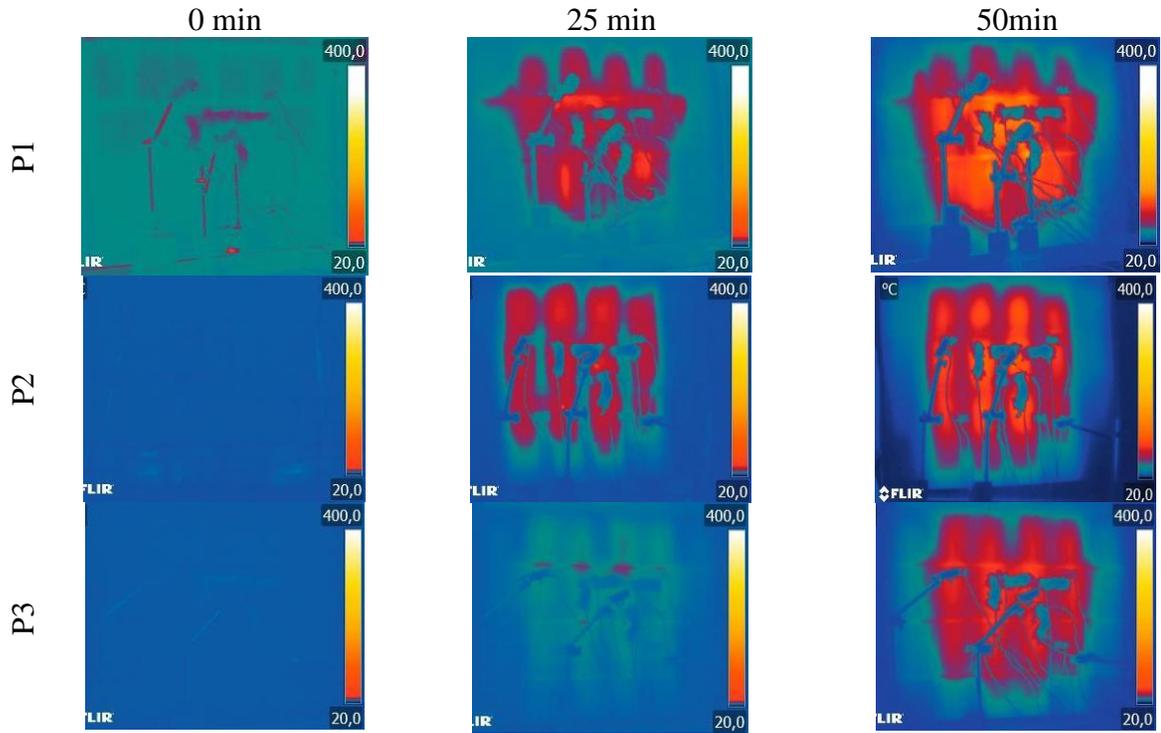


Figura 9. Imágenes Termográficas – Grupo 01.

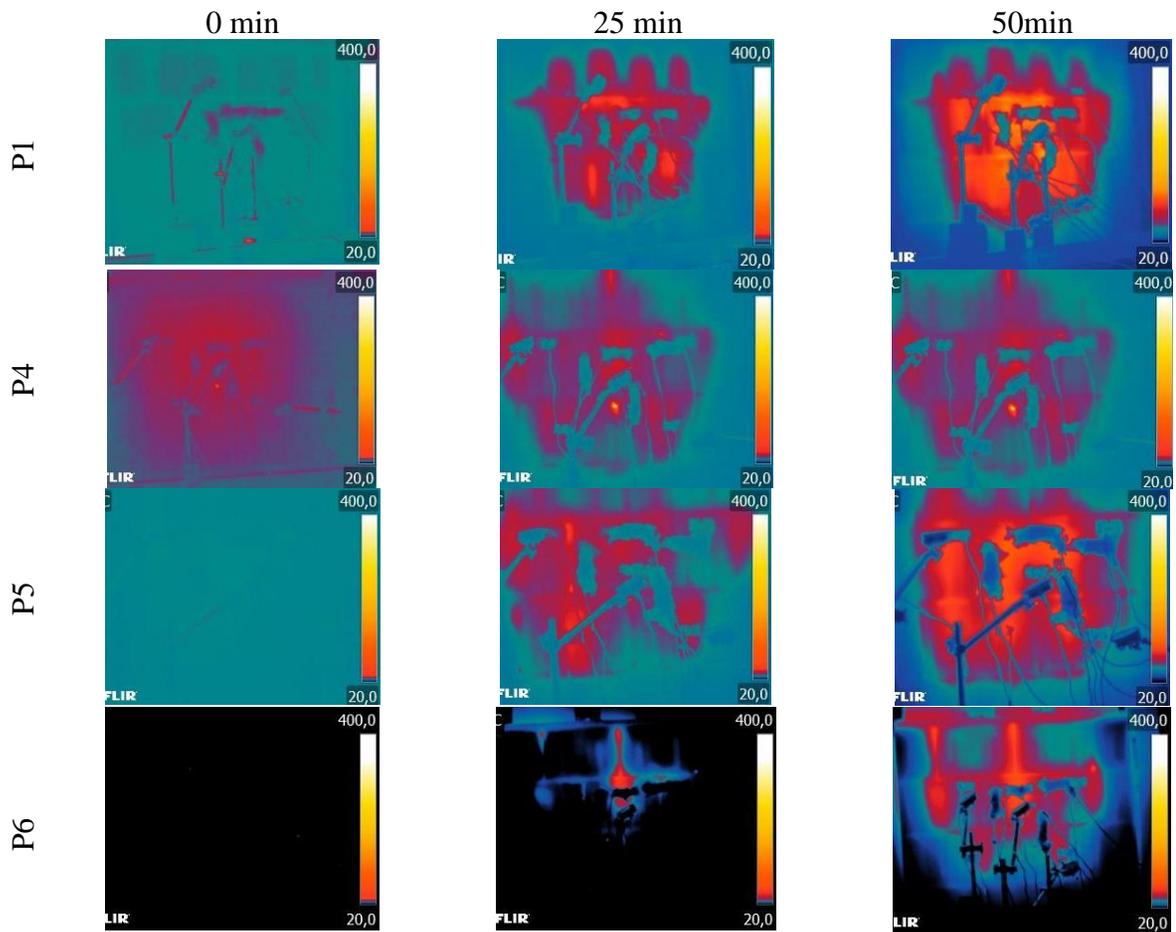


Figura 10. Imágenes Termográficas – Grupo 02.

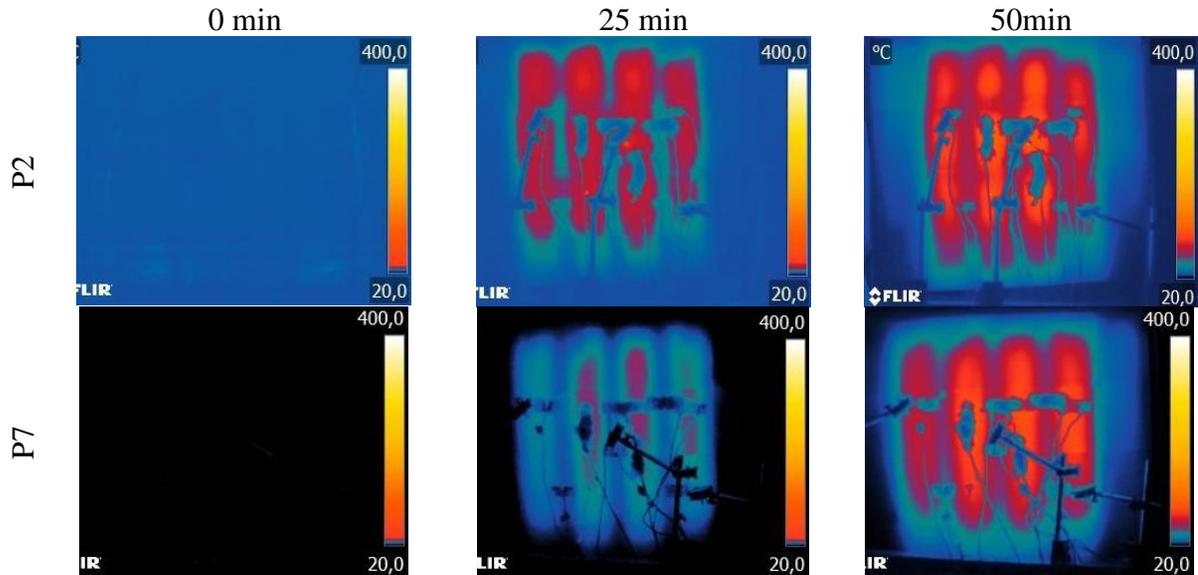


Figura 11. Imágenes Termográficas – Grupo 03.

También se visualiza un patrón de calentamiento diferente para las muestras P2 y P7, hechas con bloques tipo B2, con resistencia de 10 MPa, donde la temperatura se propaga esencialmente a través de las cavidades (Figura 11). El patrón es similar al observado por Nguyen y Meftah (2012), quienes identificaron temperaturas más altas en los alvéolos de los bloques. Según los autores, en un muro los principales mecanismos de transferencia de calor son la convección y la radiación, por lo tanto, las temperaturas medidas en las cavidades de los bloques son más altas que las medidas en sus paredes transversales, donde el calor se propaga por conducción. Dicho esto, el patrón observado se debe al hecho de que las paredes de estas unidades son masivas y, por lo tanto, la propagación del calor es menor en estas regiones que en los bloques de paredes huecas.

3.3. Desplazamientos Longitudinales

Los desplazamientos presentados en este ítem tratan con los movimientos dentro del plano de las paredes. Se midieron las dilataciones o contracciones de los bloques en las direcciones vertical y horizontal: CG 1 y CG 2, respectivamente, así como el aplastamiento o el espaciamiento de las juntas de la mampostería, también verticalmente (CG3) y horizontalmente (CG4).

Para analizar los resultados, se consideraron los datos obtenidos en los primeros 150 minutos de exposición. Después de este período, podrían sufrir interferencias de temperatura, ya que, en este momento del ensayo, el calentamiento de la cara no expuesta al calor alcanzó aproximadamente su máximo, también calentando los calibradores de clip utilizados en la instrumentación. Los valores negativos en los gráficos representan el cierre de los transductores de desplazamiento, mientras que los valores positivos indican su apertura.

Una de las observaciones que pueden hacerse a partir de los resultados presentados es que las muestras con juntas más flexibles tienden a permitir que el bloque se dilate, formando un sistema más deformable en comparación con los demás. Este comportamiento se puede observar en la muestra P1, por ejemplo, donde los transductores fijados al bloque central - CG 1 y CG 2 - mostraron un comportamiento que indica expansión en ambas direcciones (Figura 12). El inicio de la dilatación coincide con el momento en que la temperatura de la superficie exterior comienza a elevarse.

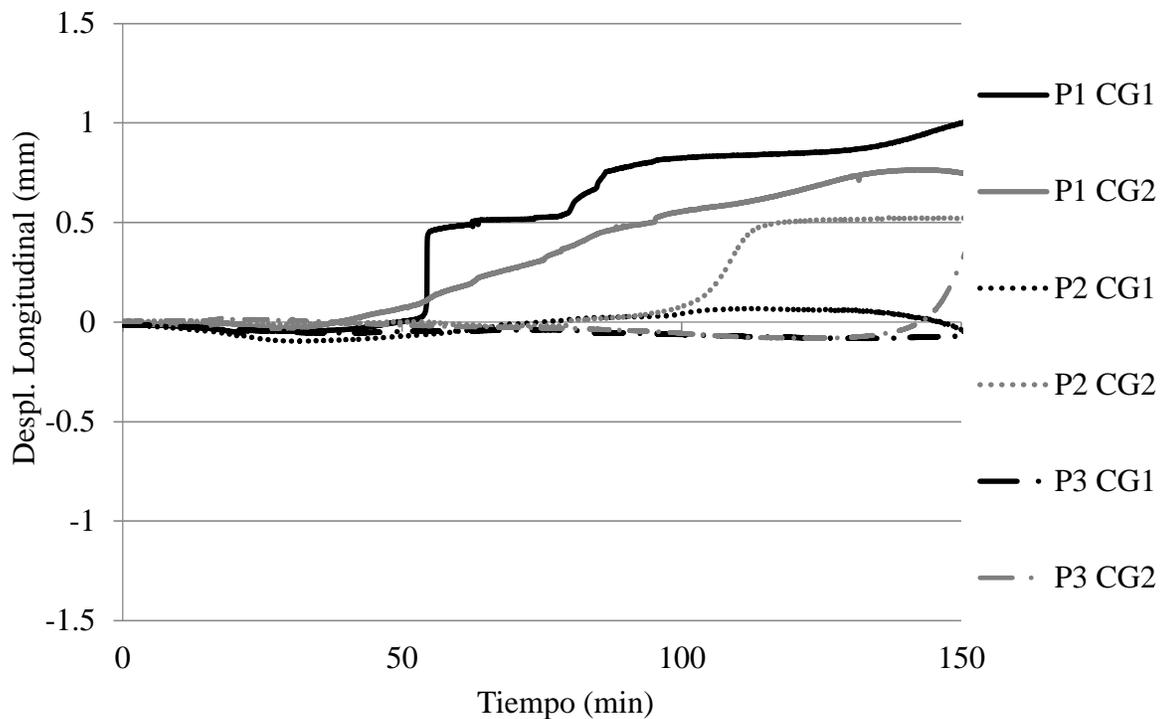


Figura 12. Desplazamientos longitudinales de los bloques – Grupo 01.

Para la muestra P2, aunque el mortero tenía una resistencia ligeramente superior a la del primero, la expansión del bloque no fue la misma. Esto puede deberse al hecho de que la restricción lateral fue más efectiva, o debido a la mayor rigidez del bloque, que tiene paredes masivas, no huecas, para darle una mayor resistencia. En el caso de la muestra P3, el bloque prácticamente no mostró movimiento durante el período considerado. Este comportamiento se atribuyó al mejor aislamiento térmico observado para esta muestra, que mostró poco aumento de temperatura en los primeros períodos, sufriendo así un menor movimiento térmico. Lo mismo es cierto para la muestra P6, que tiene un mejor aislamiento térmico debido al recubrimiento de su cara.

Al mejorar la resistencia del mortero hasta el punto de alcanzar o incluso exceder la resistencia del bloque, como en el caso de P5, la junta ya no absorbe las deformaciones, transfiriendo así las tensiones de compresión al bloque, denotadas por los valores negativos de CG2 (Figura 13). Lo mismo es cierto para la muestra con mortero polimérico (P7), que, debido a que es poco deformable, también transfiere tensiones al bloque, haciendo que se comprima en ambas direcciones: CG1 y CG2 (Figura 14).

Estas transferencias de tensión de compresión al bloque pueden indicar una señal de advertencia para la posible aparición de desprendimiento en mampostería cuando se realiza con mortero de alta resistencia. En la muestra P7, por ejemplo, construida con mortero polimérico, fue posible visualizar en el bloque una grieta de mayor expresión, incluso con una unidad de pared masiva. Esta grieta puede estar relacionada con los esfuerzos de compresión que sufre.

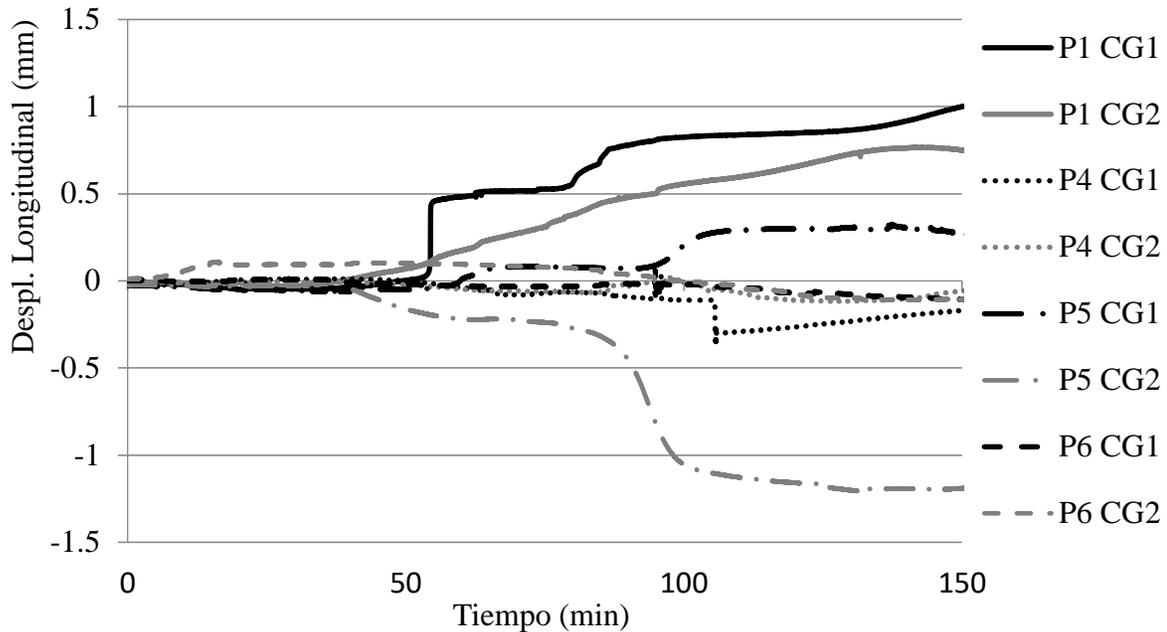


Figura 13. Desplazamientos longitudinales de los bloques – Grupo 02.

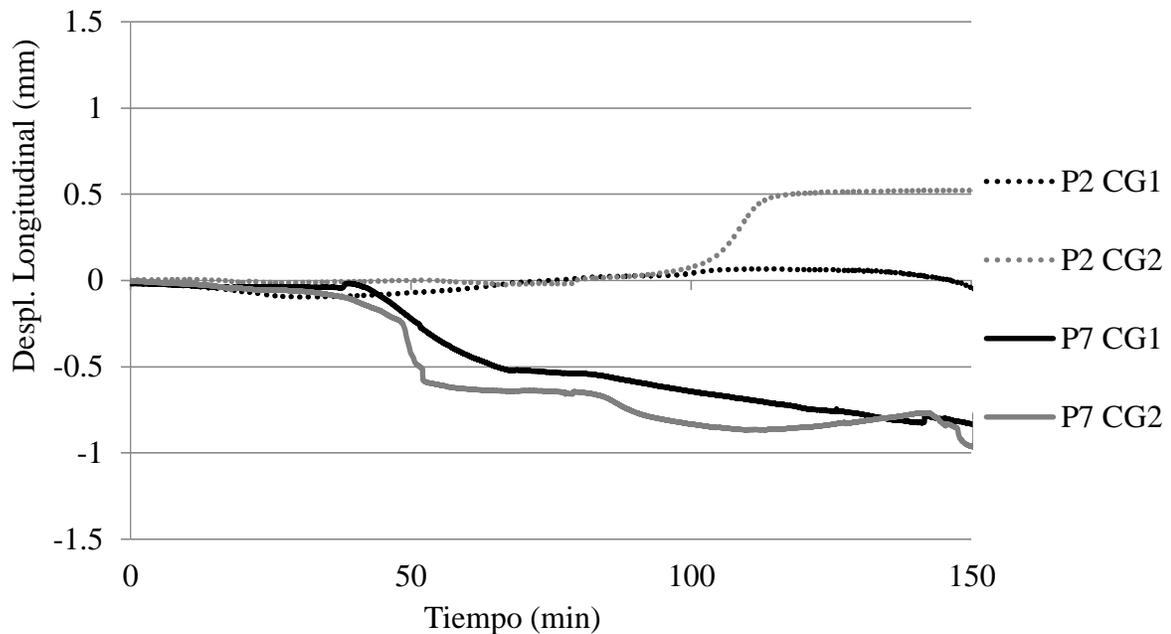


Figura 14. Desplazamientos longitudinales de los bloques – Grupo 03.

Aunque no se observó el desprendimiento en las pruebas realizadas, estamos comenzando a comprender mejor las características que podrían facilitar este fenómeno en paredes de tamaño real, como se observó en los estudios de Nguyen y Meftah (2012) y Souza (2017).

En casi todos los casos, la junta horizontal, monitoreada por CG 3, tiene cierre, lo que indica su compresión (Figuras 15 y 16). Dicha manifestación puede ser causada por la carga vertical aplicada a la muestra, o por la expansión de los bloques adyacentes, o por una combinación de ambos. La excepción a este patrón es el de la muestra P7, donde la junta horizontal inicialmente se comporta como las otras, mostrando compresión, y luego invierte su movimiento, denotando la apertura de la junta (Figura 17). Este hecho puede ser causado por la degradación y pérdida de resistencia del mortero en la cara interna de la pared.

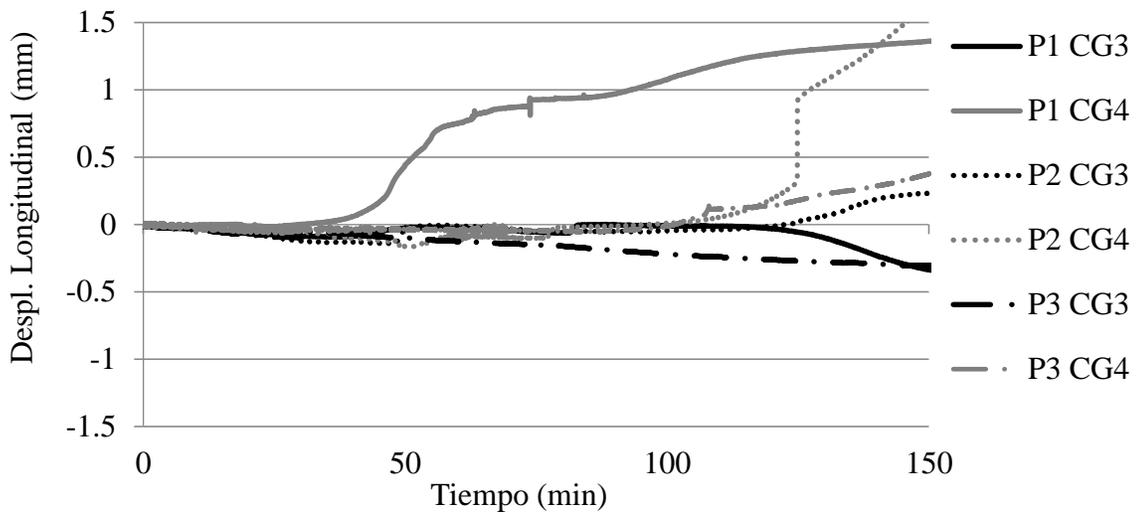


Figura 15. Desplazamientos longitudinales de las juntas – Grupo 01.

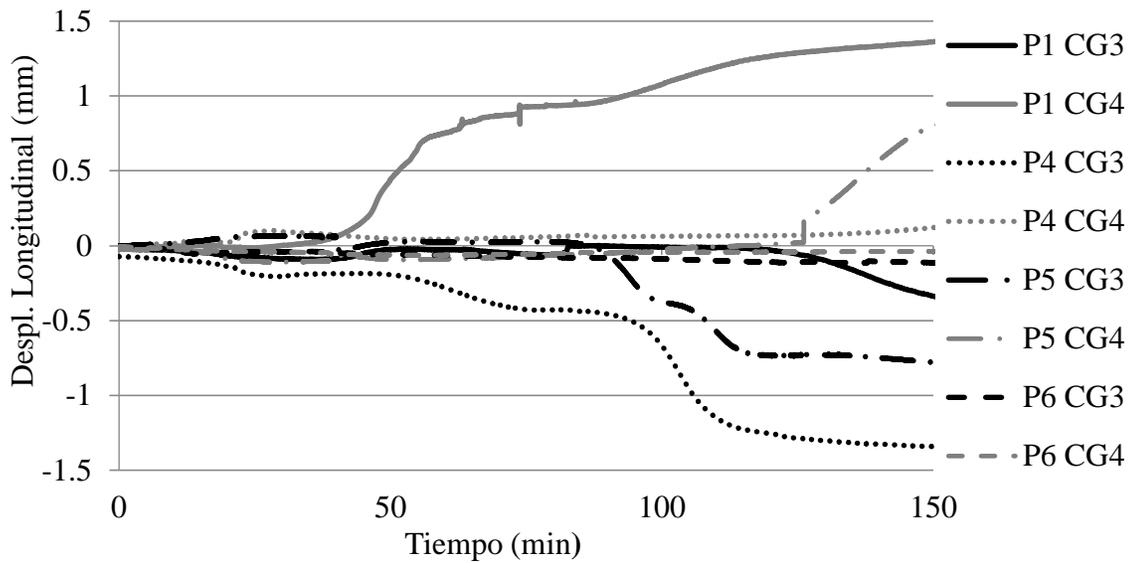


Figura 16. Desplazamientos longitudinales de las juntas – Grupo 02

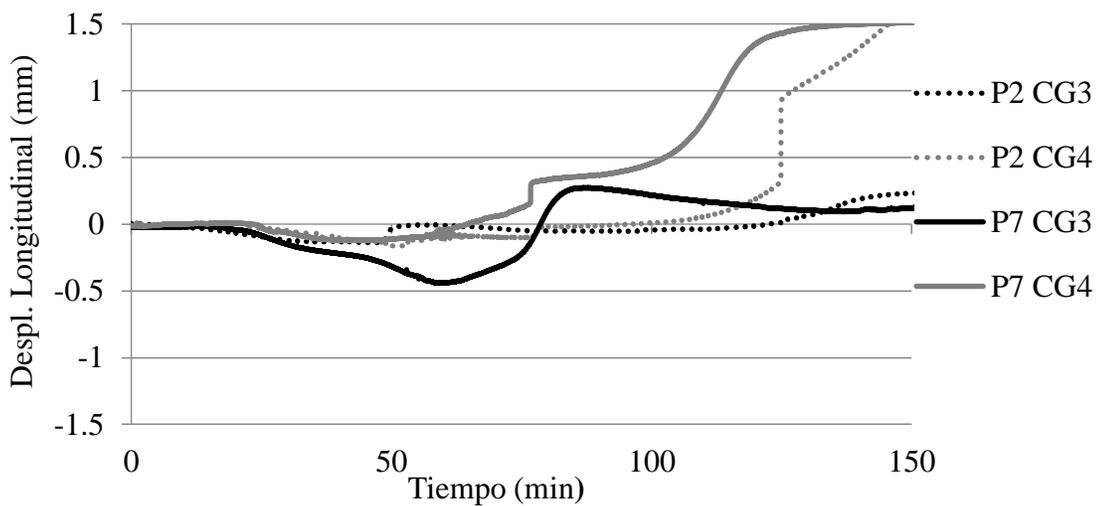


Figura 17. Desplazamientos longitudinales de las juntas – Grupo 03

El movimiento de apertura de CG 4, manifestado para la mayoría de los resultados, puede haber sido el resultado de un movimiento de la pared en su conjunto, que podría expandirse lateralmente debido a una restricción ineficiente en esa dirección. Es posible que el mortero utilizado para tapar las muestras no ofrezca suficiente resistencia para evitar la deformación. Por lo tanto, el efecto de aplastamiento de la junta entre los bloques se visualiza mejor en la dirección vertical por medio del *clip gage* 3, ya que en esta dirección la aplicación de carga hace que la restricción sea más efectiva. En general, los resultados presentados aquí constituyen una contribución importante al avance de la investigación con respecto al comportamiento mecánico de la mampostería expuesta a altas temperaturas, así como también contribuyen al conocimiento sobre la influencia de los tipos de materiales utilizados en la construcción de la mampostería en los resultados obtenidos, sujetos clasificados como escasos o ausentes en el estudio de Russo y Sciarretta (2013).

4. CONCLUSIONES

Las paredes probadas presentaron un buen rendimiento frente a la acción de altas temperaturas. Estas presentaban grietas predominantemente verticales después de la exposición, especialmente en la cara expuesta al calor. El mortero de colocación de la mampostería perdió significativamente su fuerza. En las muestras recubiertas, el mortero de recubrimiento se separó completamente del sustrato a medida que aumentaba la temperatura.

Se pudo inferir que el aumento del grosor del bloque y, sobre todo, el uso de revestimiento de mortero atenúan la propagación de calor a la cara no expuesta.

El análisis de los datos obtenidos para los desplazamientos longitudinales indicó que las juntas más flexibles forman un sistema más deformable en comparación con las demás, permitiendo que el bloque se dilate en ambas direcciones en el plano. La elevación de la resistencia del mortero de las juntas para que sea igual o superior a la resistencia de las unidades de mampostería puede representar un riesgo para el elemento ya que la absorción de tensión por las juntas se reduce para transferir las tensiones al bloque. Lo mismo se aplica al mortero polimérico debido a su baja deformabilidad.

Con los datos obtenidos es posible observar la gran cantidad de variables que pueden influir en el comportamiento de los elementos de mampostería, que es un método constructivo con propiedades de difícil comprensión en un escenario de incendio. Es de destacar que las dimensiones de las muestras estudiadas, al reducirse en relación con la realidad, les atribuyen una mayor rigidez, lo que sin duda influye en el comportamiento mecánico de los elementos.

5. REFERENCIAS

Al-Sibahy, A., Edwards, R. (2013), *Behaviour of masonry wallettes made from a new concrete formulation under combination of axial compression load and heat exposure: Experimental approach*. Engineering Structures, v. 48, p. 193–204, 2013.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.09.028>

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2001), *NBR 5628: componentes construtivos estruturais - determinação da resistência ao fogo*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1980), *NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2001b), *NBR 14432 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Ayala, F. R. R. (2010). *Mechanical properties and structural behaviour of masonry at elevated temperatures*. Tese (Doutorado) - University of Manchester, Faculty of Engineering and Physical Sciences. p. 294.

- Beber, A. J. (2003). *Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono*, p. 317.
- British Standards Institution. (1987). *BS 476: fire tests on building materials and structures*. London.
- International Organization For Standardization. (1994). *ISO 834: fire-resistance tests - Elements of building construction*. Genève.
- Li, Y., Lu, X., Guan, H., Ying, M., Yan, W. (2015). *A Case Study on a Fire-Induced Collapse Accident of a Reinforced Concrete Frame-Supported Masonry Structure*. Fire Technology. <https://doi.org/10.1007/s10694-015-0491-0>
- Navarro, M. C., Ayala, F. R. R. (2015). *Degradación de Materiales de la Construcción Ante la Acción de Altas Temperaturas*. Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería, 2., 2015. Los Mochis. Anais... . Los Mochis.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.001>
- Russo, S., Sciarretta, F. (2013). *Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behaviour and properties - An overview*. Fire Safety Journal, v. 55, p. 69–86, Elsevier.
- Shields, T. J., Connor, D. J. O., Silcock, G. W. H., Donegan, H. A. (1988). *Thermal bowing of a model brickwork panel*. International brick/block masonry conference, 8., 1988. Dublin. Anais... Dublin: Elsevier Applied Science, v. 2. p.846–856.
- Souza, R. P. (2017). *Avaliação da influência da espessura do revestimento argamassado e do carregamento no comportamento de alvenaria frente a altas temperaturas*. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale dos Sinos. São Leopoldo. 138 p.