

Incendio en compartimiento de residencia en la Ciudad de Recife: Un estudio experimental

C. Corrêa^{1*}, G. Cajaty Braga¹, J. Bezerra Junior¹, J. J. R. y Silva¹, R. Tabaczinski¹, T. A. Pires¹

*Autor de Contacto: cristianocorreacbmpe@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.221>

Recepción: 04/07/2017 | Aceptación: 06/09/2017 | Publicación: 29/09/2017

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un estudio experimental de un incendio en dormitorio de edificaciones típicamente incendiadas en la ciudad de Recife – Brasil. Se ha utilizado una habitación en estructura de hormigón armado y sello en blocs cerámicos, del taller de entrenamiento del Cuerpo de Bomberos, que ha sido remodelado y adecuado para el experimento. Este compartimiento ha sido preparado con mueblería y objetos encontrados en incendios ocurridos en la ciudad en el trienio 2011-2013. Se ha realizado 24 mediciones térmicas con termopares tipo K, en la búsqueda del comportamiento térmico del dormitorio, en la mueblería y paredes, en la faz interna y externa. El experimento ha sido seguido por medio de imágenes VHS y cámara térmica, mostrando un eficaz enfriamiento en las paredes con el uso del jacto atomizado, aplicado por el equipo de combate a incendio.

Palabras clave: Incendio en Dormitorio; Incendio en Edificaciones; Incendio Real; Seguridad Contra Incendio.

Citar como: C. Corrêa, G. Cajaty Braga, J. Bezerra Junior, J. J. R. y Silva, R. Tabaczinski, T. A. Pires (2017), “*Incendio en compartimiento de residencia en la Ciudad de Recife: Un estudio experimental*”, Revista ALCONPAT, 7 (3), pp. 215-230, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.221>

¹Universidade Federal de Pernambuco e Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco, Brasil.

²Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasil

³Universidade Federal de Pernambuco, 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 segundo número del año 2018 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2018.

Fire in residence in the City of Recife: An experimental study

ABSTRACT

This article presents the results of an experimental research, of a fire in dormitory of buildings typically burned in Recife city – Brazil. A room in the workshop of the Firemen Corporation, in a structure of reinforced concrete with a fence of ceramic bricks, has been used; such room has been remade and adapted for the research. This compartment has been prepared with furniture and objects generally found in fires happened in the city during the period between 2011 and 2013. They have made 24 thermic admeasurements with type K thermocouples, looking for the thermic behavior in the dormitory, in the furniture and walls, in both internal and external sides. The experiment has been monitored through VHS images and thermic camera, showing an effective cooling down on the walls with atomized flush, applied by the firefighting team.

Keywords: fire in dormitory; fire in building; real fire; safety for fire.

Incêndio em compartimento de residência na Cidade do Recife: Um estudo experimental

RESUMO

Este artigo apresenta resultados de um estudo experimental, de um incêndio em dormitório de edificações tipicamente incendiadas na cidade de Recife – Brasil. Utilizou-se um cômodo em estrutura de concreto armado e vedação de tijolos cerâmicos da oficina de treinamento do Corpo de Bombeiros, que foi reformado e adequado para o experimento. Este compartimento foi preparado com mobiliário e objetos encontrados em incêndios ocorridos na cidade no triênio 2011-2013. Realizou-se 24 aferições térmicas com termopares tipo K, buscando-se o comportamento térmico no dormitório, no mobiliário e paredes nas faces interna e externa. O experimento foi monitorado através de imagens VHS e câmara térmica mostrando um eficaz resfriamento nas paredes com uso do jato atomizado aplicado pela equipe de combate a incêndio.

Palavras chaves: incêndio em dormitório; incêndio em edificações; incêndio real; segurança contra incêndio.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios en edificaciones en Brasil, no obstante, su frecuencia, todavía no son conocidos integralmente (RODRIGUES *et al.*, 2017). Las edificaciones más susceptibles a estos siniestros, su ocupación, capacidad de resistencia, y sobre todo la capacidad de sobrevida en su interior, constituyen informaciones aún no consolidadas en Brasil (HAHNEMANN *et al.*, 2017).

Buscando proponer un método fácil y exequible para este mapeo basado en recomendación de ABNT NBR 14023 (1997), se ha realizado el mapeo de los incendios de la ciudad de Recife, en el Estado de Pernambuco durante el trienio de 2011-2013, en el que ha sido posible constatar la predominancia de incendios en residencias en esta ciudad, siendo que esas son casi siempre edificadas con un único piso y destinados a habitación unifamiliar (CORRÊA *et al.*, 2015). Posteriormente se ha establecido un modelo representativo de las edificaciones sinistradas, a la cual se ha llamado ‘Edificio Modal’, teniendo su *layout* de mobiliario representado por los objetos encontrados con mayor frecuencia en los incendios mapeados (CORRÊA *et al.*, 2016).

En este artículo se exhibe un experimento de incendio real en uno de los dormitorios de esta edificación modal, cuya elección de una habitación está asociada a una gran frecuencia de focos iniciales de incendio en este ambiente, constatados por Corrêa y autores (2015).

Para representar este dormitorio, se ha utilizado una habitación del Taller de Entrenamiento de Combate a Incendios, dentro del Centro de Enseñanza e Instrucción del Cuerpo de Bomberos Militar de Pernambuco, que fue debidamente remodelado y adecuado para el experimento. Se ha establecido una carga-incendio compatible con la mueblería presente en este dormitorio. Por fin, el compartimiento ha sido sometido a un incendio real, a su vez monitoreado a través de imágenes VHS, cámara térmica y 24 termopares de tipo K, posicionados en distintos puntos, en el centro del dormitorio, en las piezas de mueblería, en las paredes en sus lados interno y externo. Con eso se ha podido constatar que, entre los objetos, las más grandes temperaturas han sido observadas en la litera (principal elemento de carga-incendio consumida); entre las paredes, las más grandes temperaturas han sido medidas cerca de la puerta del compartimiento; y las máximas temperaturas atingidas por los gases han ocurrido a 2.10m de altura desde el piso (en el medio del compartimiento).

Al término de poco más de 40 minutos, y ya con el incendio en declinación, un equipo de Combate a Incendio del Cuerpo de Bomberos ha entrado en el ambiente, utilizando la técnica de jacto atomizado, y han extinguido las llamas remanecientes, y ha promovido el resfriamiento de las paredes.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Es verdad que muchos estudios utilizan componentes estructurales sometidos a grandes temperaturas, con el uso de hornos y paneles radiantes, en la búsqueda por descifrar el comportamiento de esas estructuras en situación de incendio (ZAGO *et al.*, 2016; PIRES *et al.*, 2012; LAIMET *et al.*, 2014), pero la interacción y la dinámica de los componentes de la carga-incendio, el comportamiento de las ondas térmicas, el flujo y los efectos de los gases inflamables imponen una dificultad más grande para ser simulados, precisamente en hornos o laboratorios, siendo necesaria la construcción de experimentos específicos.

Los experimentos de incendios naturales son eventos todavía raros en Brasil y en Latinoamérica. Considerados sus considerables riesgos y costos, algunos estudios utilizan edificaciones que han sufrido incendios para, a través de los testigos y análisis del escenario, estimar el evento (SILVA FILHO *et al.*, 2011; SILVA, *et al.*, 2007). En estos casos, el monitoreo de la dinámica del incendio es perspectivo, generalmente recurriendo también a la simulación computacional.

Sin embargo, algunas iniciativas de experimentos de incendios reales merecen destaque, como el experimento realizado por Lorenzi y autores (2013), que ha estudiado el incendio en una casa amueblada construida en planchas de acero con relleno de poliuretano. Se destaca que el inicio de este siniestro se ha dado en la sala de la casa, y se buscaba validar la seguridad contra incendio de una tecnología constructiva en expansión en el sur de Brasil.

En Norteamérica y en Europa Occidental, donde la cuestión de la seguridad contra incendio es tratada con inversiones más grandes, se tiene experiencias interesantes, como el gran experimento realizado por el Instituto Nacional de Padrones y Tecnología – EUA (NIST), con el apoyo del Cuerpo de Bomberos de Nueva York (FDNY) y de la Agencia Federal de Gestión de Emergencias (FEMA). Allí una serie de 14 experimentos de incendio real han sido conducidos en un edificio de 7 pisos, donde se ha ensayado varias dinámicas de desarrollo y combate a las llamas, todos los 14 eventos han sido iniciados con un incendio en la respectiva sala amueblada (NIST, 2009).

Cardington, en el Reino Unido, fue una iniciativa de gran visibilidad, donde un equipo multidisciplinar ha analizado el incendio natural en ocho compartimientos previamente preparados con revestimientos, carga-incendio y condiciones de ventilación distintos, teniendo como principal objetivo la búsqueda del refinamiento de los Eurocodes (LENNON y MOORE, 2003).

En resumen, en todos esos estudios, la curva de temperatura posee las características clásicas, presentadas en la Figura 1.

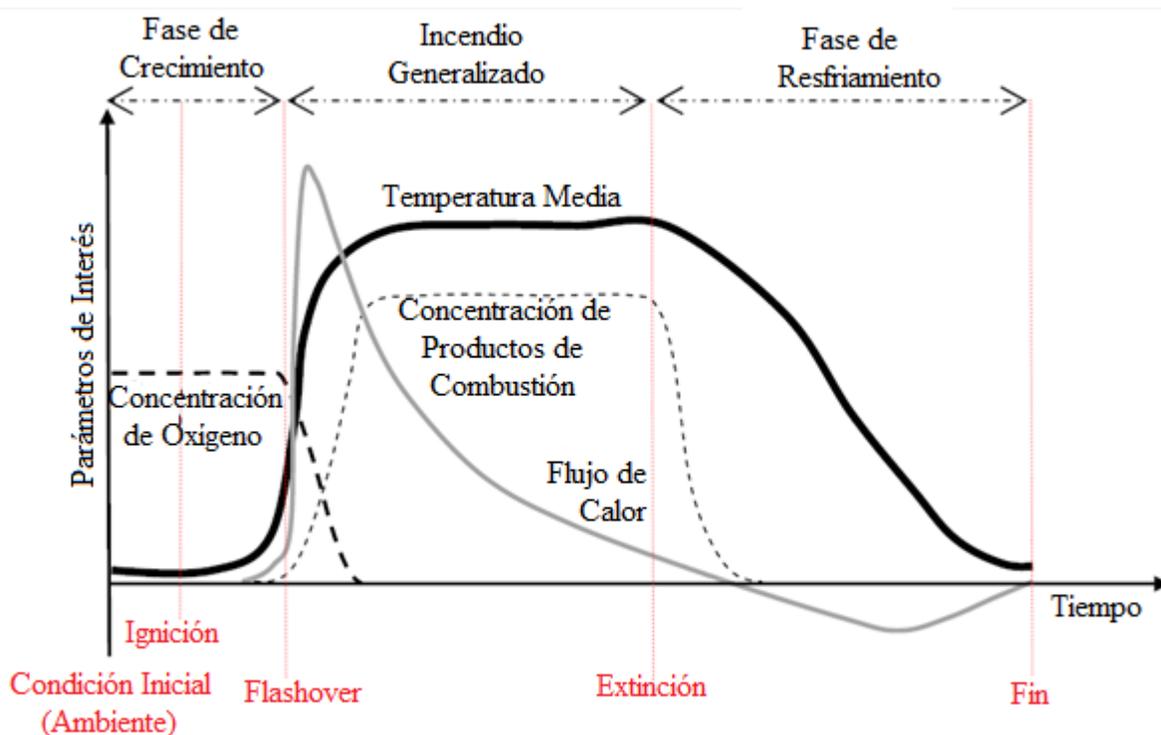


Figura 1. Representación de la evolución de las temperaturas, asociada a los diferentes parámetros de un incendio real compartimentado (Torero, 2011).

3. MÉTODO Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

Durante el trienio de 2011-13 se ha realizado un estudio que ha generado una edificación modelo, que representa el conjunto de más de mil edificaciones incendiadas en este período, en la ciudad de Recife-PE a través de metodología propia (CORRÊA *et al.*, 2015). Este estudio ha señalado hacia una residencia unifamiliar, construida básicamente en albañilería, con 97 metros cuadrados, y una carga incendio inspirada en los objetos más encontrados en los incendios (CORRÊA *et al.*, 2016).

A partir de dicha casa modelo, se ha buscado la reproducción de uno de sus dormitorios en ambiente experimental, en una habitación en el Taller de entrenamiento de Combate a Incendio, dentro del Centro de Enseñanza e Instrucción del Cuerpo de Bomberos Militar de Pernambuco, construido en estructura de hormigón armado y sellado en blocs de cerámica no estructural, además de la cobertura en planta de hormigón pre-fabricado. Esta habitación, muy semejante al encontrado y determinado por Corrêa y autores (2016), fue remodelada, y las cuatro paredes fueron preparadas de la siguiente forma: dos con chapisco de cemento, una con revestimiento de empañete de cemento, y una con revestimiento de yeso. Se ha instalado termopares en las paredes interna y externamente, para medir la conductibilidad térmica, y compararla en los diferentes revestimientos.

La carga de incendio del dormitorio fue materializada a través de los muebles y objetos determinados en la investigación de Corrêa *et al.* (2016), siendo ella constituida por: 01 (una) litera de madera, 01 (una) cama de soltero de madera, 03 (tres) colchones de espuma, 02 (dos) mesitas de noche grandes, y 01 (una) mesita de noche pequeña, las tres en aglomerado de madera, 01 (un) ropero en aglomerado de madera, 02 (dos) ventiladores y 01 (una) televisión pequeña,

además de 20kg de ropas y 4kg de papeles, todo adquirido en una tienda de muebles usados, buscando la fidelidad de los objetos, y consecuente carga-incendio encontrados en las residencias frecuentemente incendiadas en la ciudad de Recife. La Figura 2 reproduce este planeamiento.

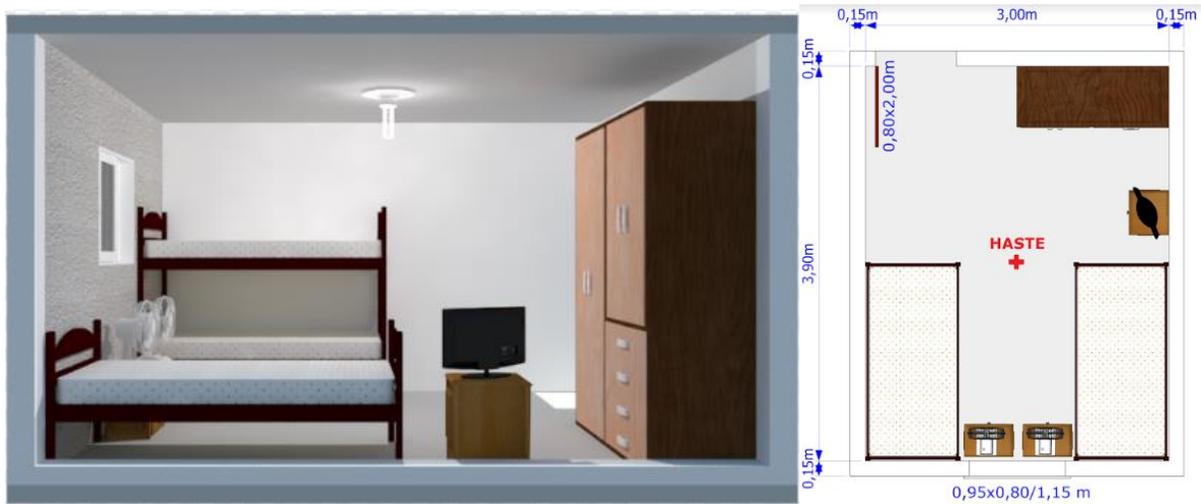


Figura 2. Bosquejos del compartimento ensayado

Después de la reforma, la habitación fue debidamente preparada con la mueblería descrita, para luego ser instalada la instrumentación de medición. La habitación, antes de la quema, estaba de acuerdo con la representación en la Figura 3 a continuación.



Figura 3. Dormitorio antes del experimento de incendio.

La carga de incendio utilizada, representada por la mueblería en el dormitorio, puede ser observada en la Tabla 1, destacando que ha sido calculada con base en el peso de las piezas en sus medidas, previstas en instrucciones normativas en uso en Brasil (CBMSC, 2014).

Tabla 1. Carga de incendio presente en el dormitorio incendiado

Objeto	Material constituyente	Cant.	Dimensiones básicas			Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Potencial calorífico (MJ/kg)	Carga total (MJ)	
			Anch. (m)	Prof. (m)	Alt. (m)					
Televisión de tubo 18"	Polipropileno, vidrio, componentes electrónicos, etc.	1.00	0.36	0.40	0.34	9.90	910.00	43.00	425.70	
Ventilador 40 cm, 6 palas	Polipropileno, componentes electrónicos, etc.	1.00	0.50	0.35	0.68	2.86	910.00	43.00	122.98	
Ventilador 40 cm, 3 palas	Polipropileno, componentes electrónicos, etc.	1.00	0.45	0.32	0.63	2.40	910.00	43.00	103.20	
Ropas	Tela	1.00	-	-	-	20.00	390.00	21.00	420.00	
Papeles	Papel	1.00	-	-	-	4.00	770.00	17.00	68.00	
Ropero	MDP (MediumDensity yParticleboard), plástico, etc.	1.00	1.35	0.47	2.25	90.00	658.52	21.00	1890.00	
Mesita de noche pequeña	MDP (MediumDensity yParticleboard), plástico, etc.	1.00	0.37	0.32	0.49	5.60	658.52	21.00	117.60	
Mesita de noche grande	MDF (MediumDensity yFiberboard), plástico, etc.	2.00	0.52	0.41	0.45	12.90	750.00	21.00	541.80	
Cama de soltero	Madera, compensado	1.00	0.95	2.04	0.97	33.40	588.46	21.00	701.40	
Litera	Madera	1.00	0.85	1.95	1.57	48.00	588.46	21.00	1008.00	
Colchón (cama de soltero)	Espuma de poliuretano	1.00	0.80	1.87	0.15	5.20	23.97	23.00	119.60	
Colchón (litera)	Espuma de poliuretano	2.00	0.71	1.91	0.16	7.10	33.78	23.00	326.60	
							Carga total (MJ)			5,844.88

Así pues, el dormitorio de 11.70 m² fue rellenado con una carga total de 5,844.88 MJ, ofreciendo una carga de incendio de 499.56 MJ/m², bien arriba de los 300 MJ/m² previstos en normas brasileñas recientes (CBMMG, 2013; CBMGO, 2014).

Buscando mediciones térmicas en el trascurso del ensayo, fueron instalados 24 (veinticuatro) termopares tipo K, distribuidos en el compartimiento según mostrado en la Figura 4.

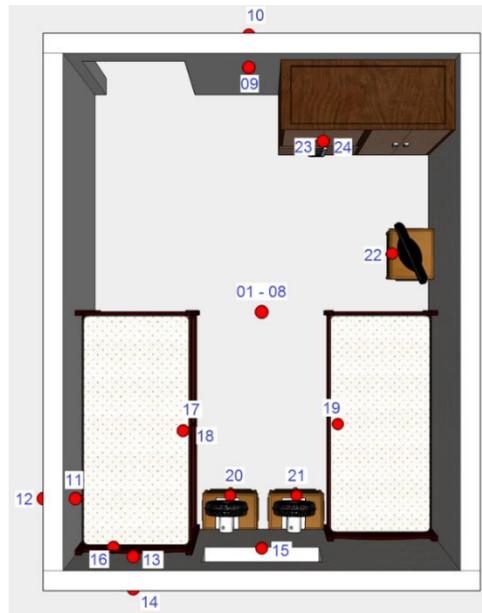


Figura 4. Distribución de los termopares en el compartimento ensayado

El posicionamiento de los termopares tuvo la siguiente correspondencia con la enumeración mostrada en la Figura 4: 01 a 08, dispuestos en el eje representado en la figura, instalados a 0.3; 0.6; 0.9; 1.2; 1.5; 1.8; 2.1 y 2.4 metros, posibilitando la observación del grado de temperatura en varios niveles, o bien promoviendo la comparación con las distintas alturas de las vías respiratorias de un hombre de pie, agachado, arrastrándose o sobre una pieza de la mueblería; 09 y 10, interior y exterior de la pared con revestimiento de empañete; 11 y 12, interior y exterior de la pared con revestimiento de yeso; 13 y 14 interior y exterior de la pared con chapisco de cemento; 15, ventana; 16, colecta de gases; 17 y 18, litera, lecho superior e inferior, respectivamente; 19, cama de soltero; 20 y 21, mesitas de noche grandes (posicionadas al lado de la litera y de la cama de soltero, respectivamente); 22, mesita de noche pequeña con la televisión; 23 y 24, ropero, posicionados en la puerta y en el colgador, respectivamente. La instalación de los termopares en las paredes fue hecha a 2.1m de altura y a 0.5m de los vértices, con excepción de la pared con empañete, donde los termopares se han quedado en la misma altura y a 0.5 del portal de entrada.

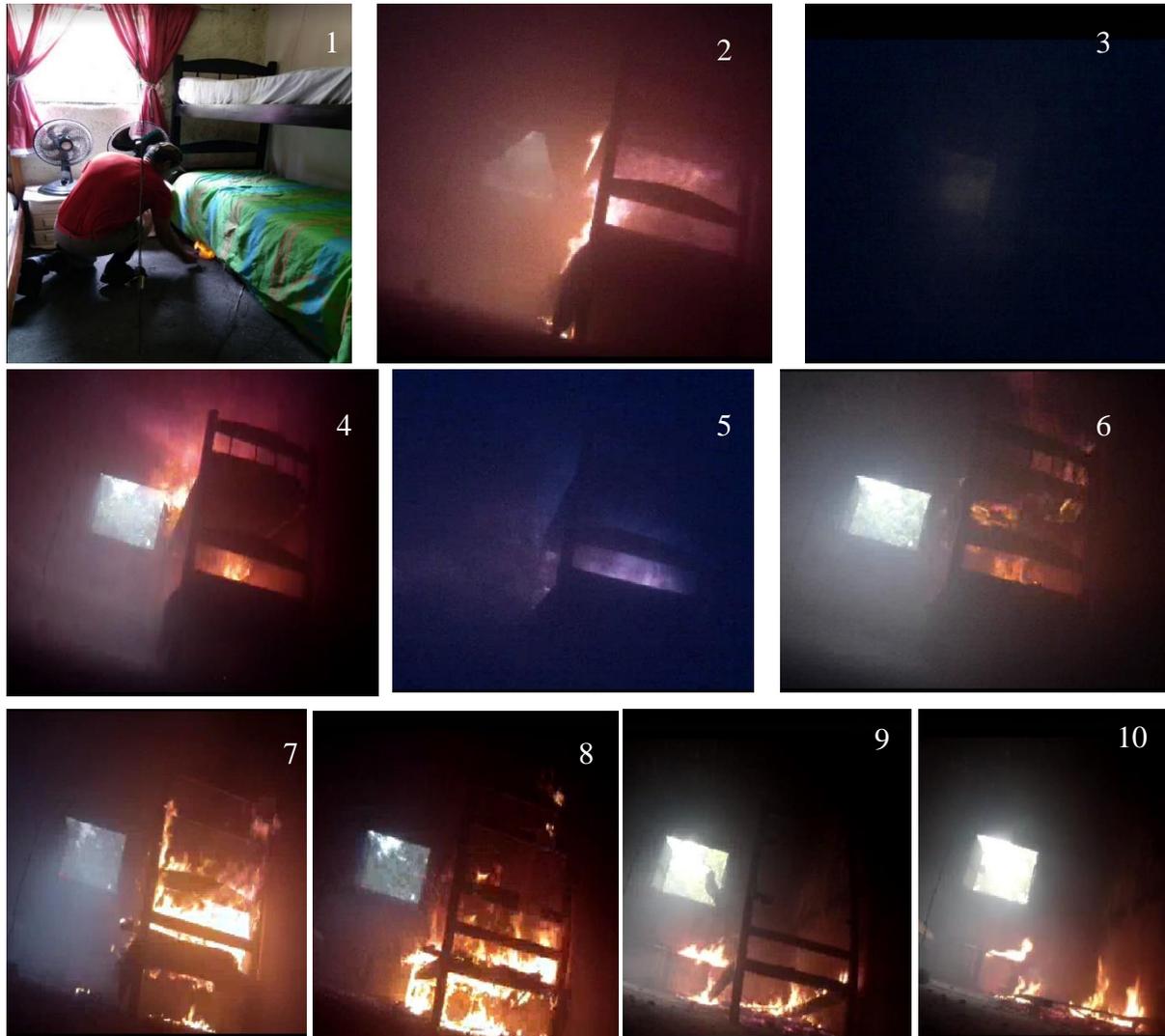
Además, el experimento fue filmado para la complementación del análisis, utilizando para eso filmadora convencional y cámara térmica, pudiendo comparar ambas imágenes y proponer una comprensión más completa de las fases del incendio ensayado. La filmadora compacta convencional ha quedado en un orificio de 3cm de diámetro, localizado en la pared de la puerta, mientras que la cámara térmica ha acompañado las imágenes a partir de la ventana que ha permanecido abierta durante todo el experimento.

El experimento fue realizado en el período matinal del día 09 de marzo de 2017, y duró poco más de 45 minutos, contados desde el encendido de la llama inicial hasta el término de la extinción de parte del equipo de combate a incendios y su salida del local. Siendo iniciado a través de un dispositivo en parafina para encendido de chimeneas. La sustancia (parafina) y la localización del foco inicial también han sido inspiradas en las ocurrencias verificadas por Corrêa *et al.* (2015).

Inicialmente, la puerta del cómodo ha permanecido cerrada, siendo abierta a los 18 minutos de ensayo, favoreciendo la ventilación cruzada en el compartimento, no hubo ventilación o agotamiento por equipo o jacto de manguera, siendo observado el fenómeno a partir de ventilación natural.

4. RESULTADOS

Se destacan algunos resultados a continuación, tales como la cronología, análisis de las temperaturas y representación por imágenes. En seguida de la cronología básica, la Figura 5 muestra los eventos del experimento propiamente dicho:



1 - 00min35seg –Inicio de la llama en pastilla de parafina;
 2 - 03min56seg –Inicio de la quema del lecho superior de la litera;
 3 - 06min22seg –Saturación de gases de combustión;
 4 - 07min38seg –Fin de la saturación por extracción natural de los gases e ingreso de aire con retorno de llama ‘viva’;
 5 - 10min36seg –Nueva saturación de gases de la combustión;

6 - 11min49seg –Fin de la 2ª saturación por extracción natural de los gases e ingreso de aire con retorno de llama ‘viva’;
 7 - 18min02seg - Abertura de puertas posibilitando la circulación cruzada;
 8 - 19min04seg - Desplazamiento del foco principal de incendio;
 9 - 21min29seg –Inicio de la combustión del plástico del ventilador sobre la mesa entumecida;
 10 - 41min43seg - Desmoronamiento total de la litera.

Figura 5. Cronología del Experimento

Los termopares han medido las temperaturas durante todo el ensayo, siendo utilizado también el CompactDAQ de la National Instruments USB de 4 módulos, con módulo de medición NI 9213, que tiene sensibilidad de hasta 0.02°C. Sin embargo, la incerteza inherente al termopar está en el orden de 2.2°C debajo de 293°C, y +/- 0.75% arriba de eso (OMEGA, 2004). Ejemplo de esos datos puede ser visto en el gráfico abajo, en la Figura 6.

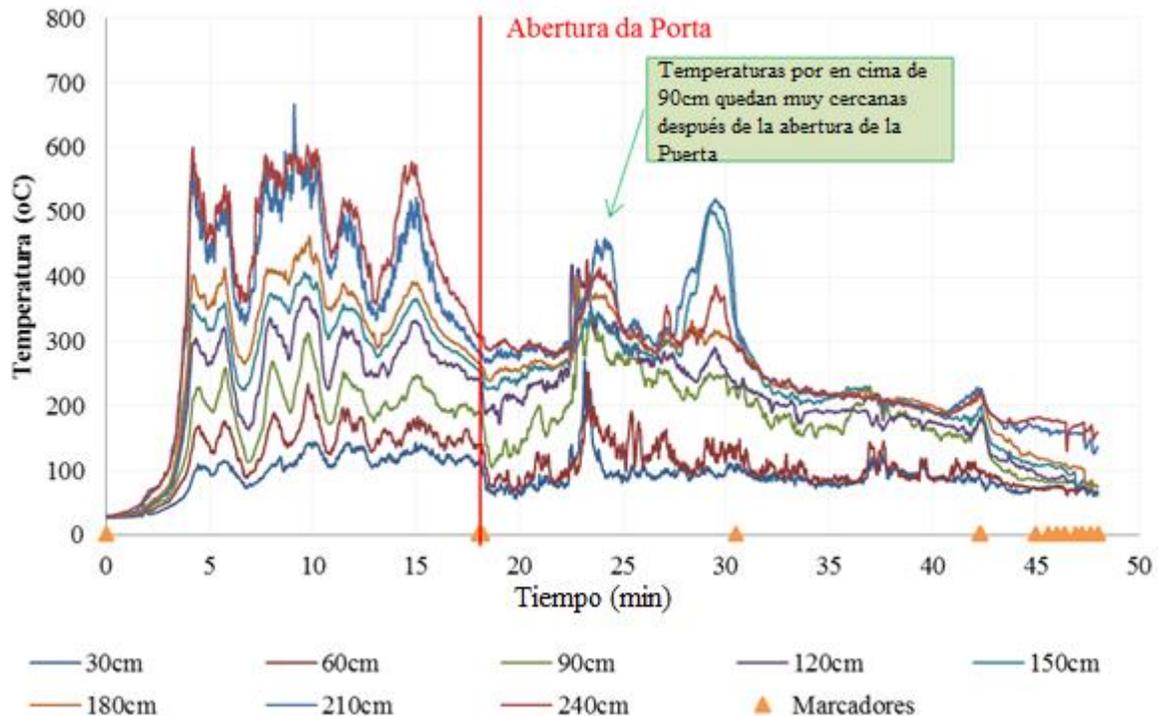


Figura 6. Temperaturas medidas desde el eje de termopares, puesto en el centro del compartimento.

Se observa un incremento de las temperaturas en el centro del dormitorio en los ocho puntos de medición del eje de termopares, durante los primeros 4 minutos, hasta que el ambiente ha sido tomado por densa nube de gases, promoviendo una saturación gaseosa (fenómeno descrito en la literatura), donde la presión interna es bien más grande que la externa, impidiendo el ingreso de aire atmosférico, y consecuentemente del oxígeno, llegando a ser medido en el termopar a 2.4m 600°C, a los 3 minutos y 40 segundos.

A continuación, la alta presión interna de los gases promueve un lento agotamiento de la nube, acompañado de una disminución gradual de las temperaturas, hasta aproximadamente el séptimo minuto, cuando un nuevo ingreso de aire atmosférico, rico en comburente, realimenta la combustión, tornando el incendio nuevamente vivo (con presencia intensa de llamas y luminosidad), acompañada del aumento de temperaturas, llegando a ser medido, en el termopar a 2.1m del piso, 667°C a los 8 minutos y 35 segundos. Una vez más, la gran producción de gases de la combustión se intensifica, disminuyendo la disponibilidad de entrada de aire/oxígeno. Se mide una disminución de más de 100°C en los puntos más altos, seguido de un agotamiento natural y un nuevo ingreso de comburente.

Estos ciclos se repiten algunas veces hasta el décimo quinto minuto, cuando las temperaturas inician una declinación progresiva, llegando al termopar con más grande medida informar 300°C, y los más bajos, menos de 100°C, presentando la clásica fase de resfriamiento, demostrada por Torero (2011).

Se destaca que, con raras excepciones, los termopares en el eje presentan una cierta compatibilidad, habiendo las temperaturas crecido y decrecido al mismo tiempo en todos ellos,

hasta la apertura de la puerta a los 18 minutos, cuando se anunciaba la declinación del incendio. Con la apertura de la puerta y el establecimiento de la ventilación cruzada, las temperaturas medidas en el centro del dormitorio perdieron la compatibilidad, oscilando individualmente, sin presentar un estándar común. La ventilación cruzada ha proporcionado una circulación de los gases calientes en diversas bandas de altura: a los 23 minutos de ensayo, la temperatura del termopar a 0.60m es más alta que la de los termopares a 2.10m y 2.40m. Sin la ventilación cruzada, tal situación sería improbable por el principio de la convección demostrado por Joanssens (2016).

A partir de los 30 minutos de ensayo, con la disminución del material combustible, las temperaturas se dividen en dos estándares: los cinco termopares más elevados (2.4m, 2.1m, 1.8m, 1.5m y 1.2m) presentan temperaturas próximas a los 200°C, mientras que los tres termopares más próximos al piso (0.9m, 0.6m y 0.3m) presentan temperaturas próximas a 100°C. Sin embargo, ambos estándares presentan una caída casi lineal, caracterizando la fase de refrigeración del incendio.

Se resalta que no hubo la generalización del incendio o *Flashover*, en su forma clásica, en este experimento. Se observa que este incendio difiere de la curva clásica de temperaturas presentada en la Figura 1, sobre todo por el movimiento cíclico de Combustión Viva – Saturación Gaseosa – Extracción Natural – Ingreso de Oxígeno – Combustión Viva, promoviendo valles y picos de temperaturas, y consecuentemente, una curva bastante menos lineal.

El comportamiento de las temperaturas en los objetos de la mueblería puede ser visto en los gráficos de la Figura 7 a continuación.

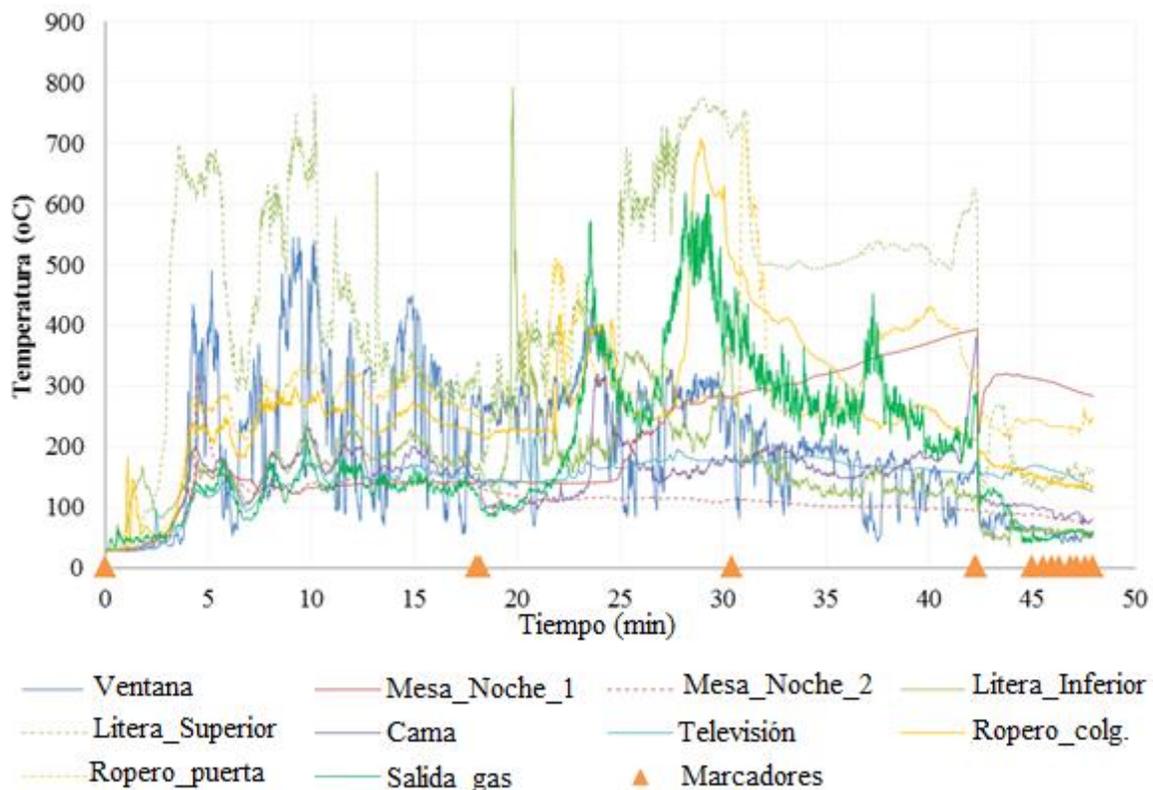


Figura 7. Temperaturas medidas en los objetos.

Se ve que las más altas temperaturas han sido medidas en el lecho inferior de la litera, llegando cerca de 800°C en varios momentos (10, 19, 27 y 31 minutos), hecho compatible con el hecho de ser la pieza de mueblería donde el incendio fue iniciado, y el objeto más tocado por las llamas. Llama la atención también, principalmente después de los 25 primeros minutos de quema y de la

abertura de la puerta (18 minutos), el aumento de temperatura en la puerta y en el interior del ropero, que, aun no habiendo sido completamente consumido, ha alcanzado temperaturas que superan a los 700°C. En parte, este calentamiento es explicado por la convección de los gases para el interior del ropero que, a través de su geometría, ha facilitado el acúmulo de gases calientes, además, algunas piezas de vestidos entraron en combustión, promoviendo la producción de calor.

Como ya revelado, las paredes de albañilería de blocs cerámicos también han tenido medidas térmicas, hechas en las partes interna y externa. Se subraya que todas ellas poseían revestimiento, sea de empañete, de chapisco de cemento y de yeso. Las paredes que se quedaron más cerca de la litera fueron las que han sido revestidas de chapisco de cemento y de yeso. A continuación, la Figura 8 muestra el gráfico que representa las temperaturas medidas en las paredes durante el experimento.

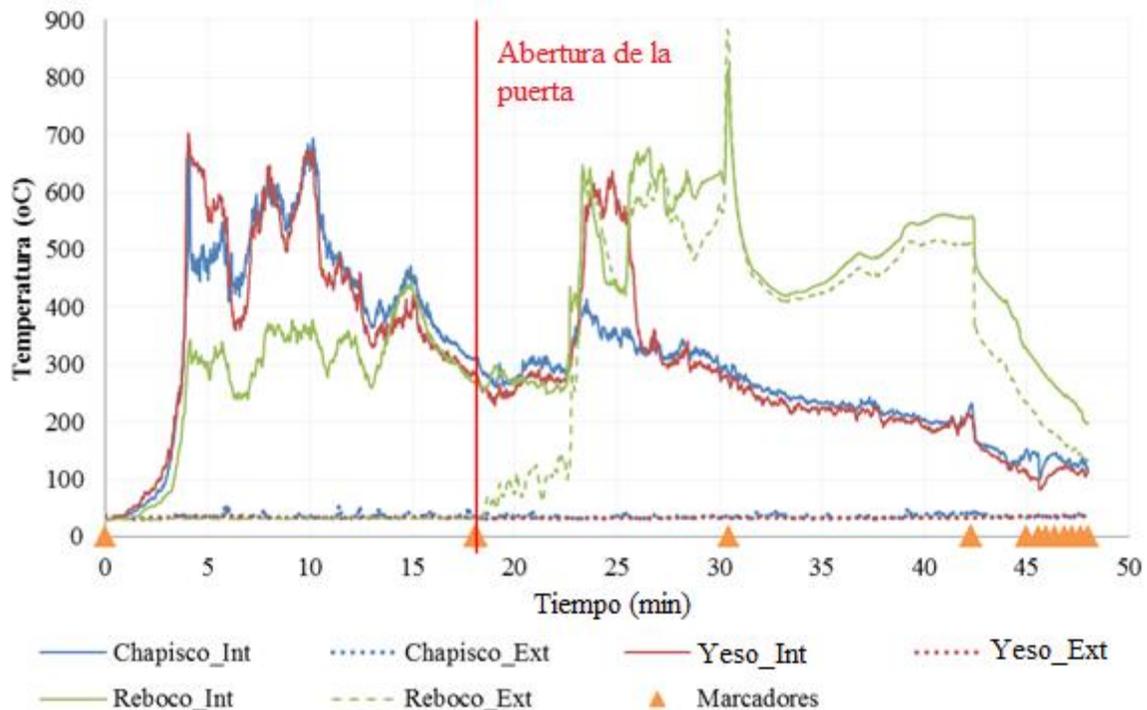


Figura 8. Temperaturas medidas en las paredes interna y externamente

Las temperaturas en las paredes internas, principalmente las con chapisco de cemento y de yeso (más cercanas al foco inicial de incendio) han acompañado la curva de aumento y disminución, medidas en el centro del dormitorio a través del eje de termopares, a partir del proceso de producción de gases, saturación, extracción natural, ingreso de aire atmosférico (oxígeno), quema viva, producción de gases, y etc., hasta la abertura de la puerta. Esa asertiva puede ser comprobada a partir de la comparación de estos dos termopares con el localizado a 2.10m de altura del piso, en el eje.

A los 4 minutos de ensayo, la pared con revestimiento de yeso llegó a 702°C en su faz interna, mientras que la con chapisco de cemento llevaba a 641°C. A los 9 minutos y 54 segundos, la pared con chapisco estaba bajo 684°C, y la revestida de yeso a 662°C, siendo estos los más grandes picos registrados, se subraya que ambas presentan una proximidad bastante relevante hasta el momento de la abertura de la puerta.

La pared con revestimiento de empañete (más lejos del foco inicial de incendio) tuvo su curva por debajo de los 400°C hasta los 14 minutos y 12 segundos, cuando tuvo el último pico de temperatura antes de la abertura de la puerta.

Las temperaturas de todas las paredes internas, después de la abertura de la puerta, se aproximan sustancialmente hasta los 22 minutos de ensayo, cuando la temperatura de la pared en yeso sube sustancialmente, llegando a alcanzar valores superiores a 600°C.

En las temperaturas de las paredes externas, se ve poca variación hasta la abertura de la puerta, con valores que pasan de los 60°C. Se destaca un aumento extremadamente significativo de la temperatura de la faz externa en la pared con revestimiento de empañete, que, después de la abertura de la puerta y consecuente ventilación cruzada, suben para más de 645°C en poco más de 5 minutos, manteniendo picos y valles por encima de 400°C y llegando a 878°C a los 30 minutos y 24 segundos.

Para examinar más detalladamente la conducción térmica a partir de las paredes en albañilería de blocs cerámicos de 8 agujeros horizontales, revestidas internamente con yeso, chapisco de cemento y empañete, se propone el gráfico mostrado en la Figura 9.

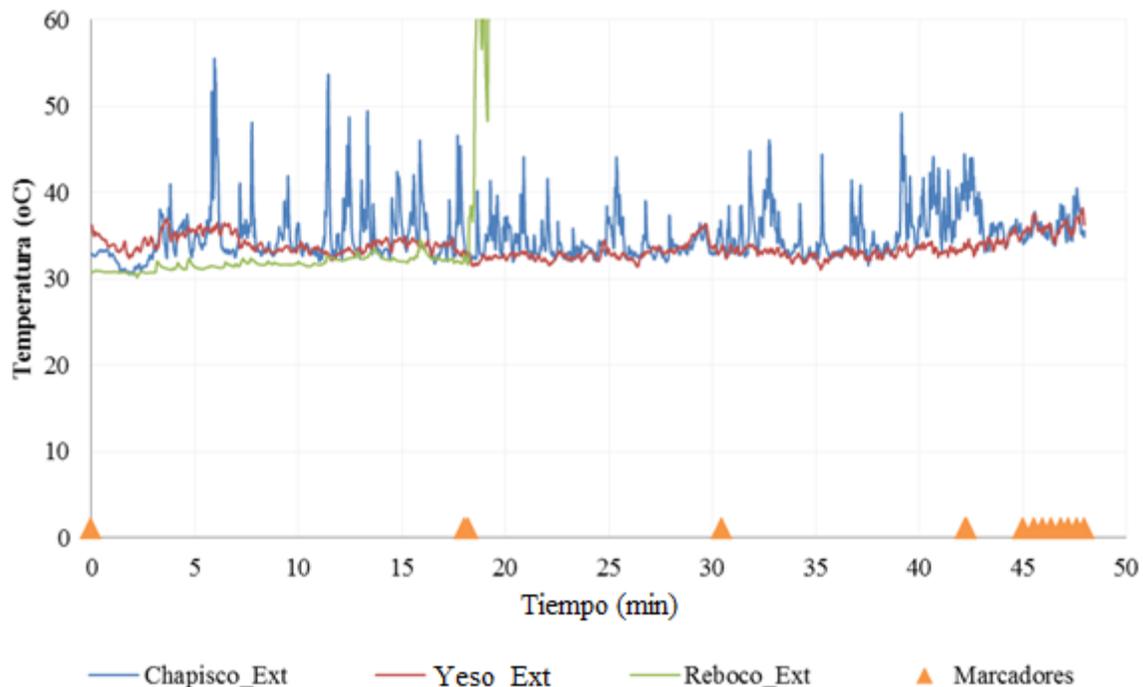


Figura 9. Temperaturas medidas en las paredes externas

Se observa que las altas temperaturas internas no han sido conducidas hacia la faz externa de las paredes, aun las más cercanas al foco inicial del incendio. La subida abrupta de la temperatura externa en la pared revestida de empañete está asociada a la abertura de la puerta y el inicio de la ventilación cruzada, revelando que la abertura de un compartimiento incendiado puede traer una elevación sustancial de la temperatura de las habitaciones contiguas, y por consecuencia, una propagación del incendio.

Cabe notar que, cuando analizadas apenas las paredes revestidas internamente con chapisco de cemento y yeso, se nota un buen aislamiento térmico para ambas, pues, aun con temperaturas internas que han ultrapasado a los 680°C, externamente ambas no han llegado a medir ni siquiera 60°C. Sin embargo, comparando el desempeño, el revestimiento de chapisco de cemento se ha revelado menos eficaz que el de yeso, siendo que el primero ha llegado a 54.38°C a los 5 minutos y 58 segundos, mientras que el segundo tuvo temperatura máxima de 38.19°C a los 47 minutos y 49 segundos de experimento. El ensayo fue acompañado de filmación térmica, ejecutada por técnico en termografía, cedido por la empresa ‘Câmara Térmica FLIR’. A continuación, la figura 10 muestra algunas imágenes comparativas entre las captadas por cámaras convencionales y las termográficas:



Figura 10. Imágenes Térmicas de la Entrada del Equipo de Combate a Incendios.

En las imágenes térmicas se puede ver una gran cantidad de informaciones que pueden perfeccionar el combate a incendios, como piezas con gran liberación térmica (focos de incendio) que quedan invisibles en medio a los gases de la combustión, así como apuntar hacia diferentes componentes estructurales, como blocs cerámicos ocultos bajo el revestimiento, o aun dar indicaciones de colapsos estructurales no vistos a ojo desnudo, proporcionando incluso la evacuación de la área afectada y áreas adyacentes.

Otro factor evidenciado en las imágenes térmicas es el proceso de refrigeración de estructuras como se ve en la Figura 11.

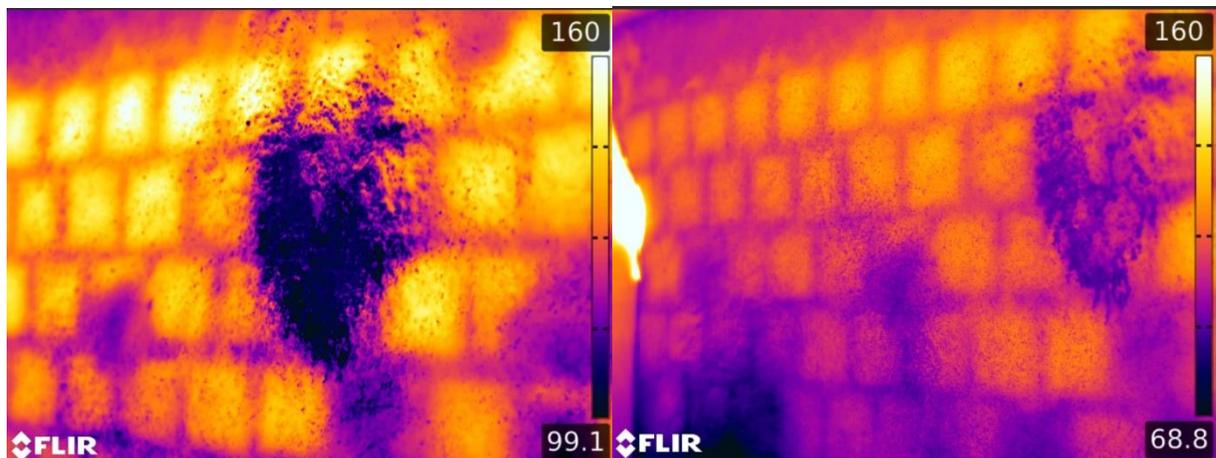


Figura 11. Imágenes Térmicas de la Refrigeración de Estructuras.

En las imágenes térmicas arriba se ve la eficiencia de la aplicación de un jacto ‘atomizado’, jacto de agua aplicado a través de mangueras de incendio de 1 ½ pulgadas, con presión de trabajo 8 Kf/cm²(PSI) a un caudal de 30 galones por minuto, con abertura de 60° de accionamiento por 1 a 2 segundos, sobre las paredes en albañilería revestidas.

En la primera imagen un único jato proporciona, casi instantáneamente, la reducción de 160°C para 99.1°C, mientras que, en la segunda imagen, un conjunto de algunos jatos disminuye la temperatura de las paredes para 68.8°C en muchos puntos de su área.

Es importante destacar que una de las mesitas de noche fue entumecida con pintura específica para madera, de fabricación CKC do Brasil, aplicada según las instrucciones del fabricante, siendo la observación del comportamiento de la pieza en medio a un incendio natural un estudio propio.

Después del experimento se observan algunos muebles completamente consumidos (litera, colchones, ventiladores) o irrecuperables (ropero y televisión), las paredes están completamente chamuscadas, pero sin grandes patologías observables a ojo desnudo. La Figura 12 muestra las imágenes del cómodo después del incendio.



Figura 12. Imágenes del cómodo después del incendio.

5. CONCLUSIONES

Se concluye inicialmente que el estudio ahora presentado (basado en una estadística de más de 1,000 incendios y con un monitoreo razonable), aún es escaso en Latinoamérica.

Se puede concluir que la carga de incendio del dormitorio analizado es bastante superior a lo estipulado en las normas brasileñas que, como regla general, apuntan hacia 300 MJ/m² para este tipo de edificación, contraponiéndose a los 499.56 MJ/m² calculados a través de los objetos y mueblería indicados por Corrêa *et al.* (2016).

En el experimento se ha observado una curva de temperatura vs tiempo bastante distinta de la curva ‘clásica’, asociada a la oscilación generada principalmente por el proceso cíclico de Combustión Viva – Producción de Gases – Saturación Gaseosa – Extracción Natural – Ingreso de Oxígeno – Combustión Viva, de cierta forma esperado, ya que la curva comentada es cualitativa y busca presentar un promedio de las temperaturas.

Entre los objetos, las más altas temperaturas han sido observadas en la litera, principal elemento de la carga de incendio consumida, y en el ropero que, aun no siendo consumido totalmente, ha presentado temperaturas por encima de los 700°C, mostrando como la geometría de los objetos puede facilitar la concentración de gases calientes y flujos térmicos, siendo este más un factor a ser evaluado en la Seguridad Contra Incendio en Edificaciones (SCIE).

Las paredes internas, próximas al foco principal, han tenido temperaturas semejantes, estas eran revestidas de yeso y chapisco de cemento, alcanzando picos de hasta 700°C en las fases de crecimiento y desarrollo del incendio.

La conducción térmica de las paredes en albañilería se ha revelado baja en este experimento, no habiendo temperaturas por encima de 60°C en las faces externa de las mismas. Sin embargo, cuando comparadas, las conductividades de las paredes revestidas con yeso y chapisco de cemento, se nota una diferencia en favor de la primera, que en su faz externa, tuvo temperatura máxima de 38.19°C, mientras que la segunda presentó 54.38°C.

La abertura de una puerta en un compartimiento, como el montado para el experimento, promueve fenómenos relevantes para la dinámica del incendio, entre ellos se destaca la ventilación cruzada, que puede llevar el flujo de calor rápidamente hacia compartimientos adyacentes, como ha sido medido por el termopar en la faz externa de la pared con revestimiento de empañete, propagando el incendio en caso de existir material combustible en este compartimiento.

El resfriamiento de las paredes en albañilería por ‘jacto atomizado’ se ha mostrado bastante eficaz, conforme constatado en las imágenes térmicas. Estas imágenes también pueden ser utilizadas para un perfeccionamiento del combate a incendio y en el examen de las estructuras durante el siniestro con estas características.

Finalmente, la utilización de un compartimiento con dimensiones, características estructurales, carga-incendio y dinámica, semejantes a las encontradas en levantamiento estadístico, genera resultados relevantes; sin embargo, la repetición de experimentos basados en incendios frecuentemente ocurridos en edificaciones debe ser perseguida, para la cristalización y generalización de las conclusiones ahora levantadas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas CKC do Brasil por haber cedido tinta intumescente, y a Câmaras Térmicas FLIR, por haber acompañado el experimento, promoviendo el filmaje térmico. Agradecen también a los Cuerpos de Bomberos Militares de Pernambuco y del Distrito Federal, por haber cedido el personal y equipos fundamentales para la ejecución del ensayo.

7. REFERENCIAS

ABNT, *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. NBR 14.023: Registro de Atividades de Bombeiros, Rio de Janeiro, 1997.

Corrêa, Cristiano; Rêgo Silva, J. J., Pires, T. A., Braga, G. C. (2015), “*Mapeamento de Incêndios em Edificações: Um estudo de caso na cidade do Recife*”. Revista de Engenharia CivilIMED, V. 2, Nº. 3, 2015, pp. 15-34.

- Corrêa, C., Rêgo Silva, José J.; Pires, Tiago A.; Braga, George C.; Vieira de Melo, Izabela A.. “*Edifício Modal: Uma representação para o Estudo de Incêndios na cidade de Recife*”. Revista Cientec, V.8, N.2, 2016.
- Corpo de Bombeiros Militar de Goiás (Estado de Goiás). *Norma Técnica 14/2014 - Carga de Incêndio nas Edificações e Áreas de Risco*, 2014.
- Corpo de Bombeiros Militar do Mato Grosso (Estado de Mato Grosso). *Norma Técnica 14 - Carga de Incêndio*, 2013.
- Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (Estado de Santa Catarina). *Normas de Segurança Contra Incêndio – Instrução Normativa 03 (Carga-Incêndio)*, 2014.
- Hahneemann, A. L. C., Corrêa, C., Rabbani, E. R. K. (2017). “*Evaluación de seguridad contra incendio: método alternativo aplicado a edificaciones brasileña*”. Revista ALCONPAT, v.7, n.2, pp.186-199.
- Heskestad, G. (2016), *Fire plumes, flame height, and air entrainment*. In__SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2016.
- Janssens, M. (2016), *Calorimetry*. In__SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2016.
- Laím, L., Rodrigues, J. P. C. e da Silva, L. S. (2014). *Experimental analysis on cold-formed steel beam subjected to fire*. Thin-Walled Structures, v.74, 2014, pp.104-117.
- Lorenzi, L. S. Klein, D. L., Caetano, L. F.; Silva Filho, L. C. P., Estevam, E. (2013), “*Avaliação do comportamento de edificação habitacional constituída em chapas de aço com preenchimento de poliuretano em situação de incêndio*”. In__2 Congresso Íbero-Latino-Americano de Segurança Contra Incêndio, Coimbra - Portugal.
- Lennon, T., Moore, D. (2003), *The natural fire safety concept—full-scale tests at Cardington*. Fire Safety Journal, v. 38, n. 7, 2003, pp. 623-643.
- Lu, X.; Luh, P.B.; Tucker, A.; Gifford, T. (2017), *Impacts of Anxiety in Building Fire and Smoke Evacuation: Modeling and Validation*. IEEE Robotics and Automatío Letters, V.2, N.1, pp. 255-260.
- National Institute Standart Technology. Kerber, Stephen; Madrykowski, Daniel (Org.). *Fire fighting tactics under wind driven fire conditions: 7-story building experiments*, v. 1629, 2009.
- Omega Engineering Inc. *The Temperature Handbook*, Vol. MM, pp Z-39-40, Stamford, CT, 2004.
- Pignatta e Silva, V., Rodrigues, F. C., Fakury, R. H., Pannoni, F. D. (2007), *Incêndio real em um apartamento de interesse social-um estudo de caso*. Rem: Revista Escola de Minas, v. 60, n.2, pp. 315-324.
- Pires, T. A., Rodrigues, J. P. C., e Silva, J. J. R. (2012). *Fire resistance of concrete filled circular hollow columns with restrained thermal elongation*. Journal of Constructional Steel Research, v. 77, 2012, pp. 82-94.
- Quintiere, J.G. Principles of fire behavior. 2016.
- Rodrigues, E.E.C.; Rodrigues, J.P.C.; Silva Filho, L.C.P. da. *Comparative study of building fire safety regulations in different Brazilian states*. Journal of Building Engineering, v.10, 2017, pp.102-108.
- Silva Filho, Luiz C. P.; Rushchel F.; Dolvitsch J.; Lima, Rogério C. A de; Braga, George C. B. *Utilização de Métodos Computacionais na Reconstituição de Incêndios: Aplicação ao caso do Shopping Total*. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, V.8, 2011, pp. 52-64.
- Torero, José L. “*Prescrição ou Performance: Quando? Porquê? Como? Quem?*”. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, V.8, Nº1, 2011, pp. 4-21.
- Zago, C. Da S., Moreno Junior, A. L., Marin, M. C. (2015), *Considerações sobre o desempenho de estruturas de concreto pré-moldado em situações de incêndio*. Revista Ambiente Construído. v.15, n.1, p.49-61.