

# **EVALUACION FISICA MECANICA Y QUIMICA SOBRE CERRAMIENTOS UTILIZADOS POSTERIOR A UN INCENDIO**

## **PHYSICS MECHANICS AND CHEMICAL EVALUATION ON WALLS USED AFTER FIRE**

**Valero, D. \*, Yáñez, N. \*\* Olavarrieta, M. A. \*\*\***

*Recibido 01/11/2015: Aprobado: 03/12/2015*

### **RESUMEN**

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento ante el calor, de bloques de concreto aligerado y de poliestireno expandido de alta densidad, usados en losas y cerramientos en edificaciones prototipo. Se enmarca dentro de una investigación de campo, de carácter experimental y analítico-descriptivo, para lo cual se realizaron seis fases: recopilación de la información, caracterización físico-mecánica del revestimiento a utilizar, prototipos o módulos a ensayar, descripción de la sistemática del ensayo, caracterización físico-química de los materiales en estudio, y elaboración de recomendaciones de seguridad en caso de incendio. Se recopiló la información necesaria en materia de poliestireno expandido de alta densidad, y bloques aligerados con arcilla expandida mediante consultas de textos, manuales, normas, institutos, locales comerciales, publicaciones en internet, personal técnico capacitado con experiencia en el uso en obras de dichos materiales. La empresa especializada International Fire Services C.A. (IFSCA) realizó el estudio requerido según normas. Entre los hallazgos relevantes se encontraron los altos valores de compuestos volátiles orgánicos durante la combustión del poliestireno expandido y la propiedad de los bloques aligerados con arcilla expandida como aislantes térmicos.

***Palabras clave:*** *Concreto aligerado, poliestireno expandido, gases tóxicos, Venezuela*

---

*\*Ingeniero Civil. Correo: dcreativ@hotmail.com*

*\*\*Ingeniero Civil. Correo: naisabeyanez@gmail.com*

*\*\*\*Docente Investigador de Química de Materiales en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Msc en Gerencia de la Construcción. Correo: ingmariaalice@gmail.com*

## ABSTRACT

This research is intended to evaluate the behavior of lightened concrete blocks and expanded high density polystyrene when exposed to heat, that are used in slabs and enclosures in prototype buildings. It is part of a field research, experimental and analytical-descriptive, for which six phases were carried out: collection of information, physical-mechanical character of coating to use, prototypes or modules to be tested, description of the scheme of testing, physical-chemical character of the materials under study and development of safety recommendations in case of fire characterization. The necessary information on expanded polystyrene high density, and lightweight blocks with expanded clay was collected through consultation of texts, manuals, standards, colleges, shops, online publications, trained personnel with experience using these materials. The specialized company International Fire Services C.A. (IFSCA) conducted the study required under standards. Among the key findings there were the high levels of volatile organic compounds during combustion of expanded polystyrene and characteristics of the lightweight expanded clay blocks as thermal insulators were found.

**Keywords:** *Concrete lightweight, expanded polystyrene, toxic gases*

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la civilización, los materiales y fuentes de energía han sido utilizados por el hombre para mejorar su calidad de vida, modificando su entorno para adaptarlo a sus necesidades, valiéndose de todo tipo de recursos naturales que, con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se han ido transformando en diferentes productos mediante procesos industriales de progresiva sofisticación. En la actualidad existen muchos elementos para la construcción, entre los cuales se distinguen dos aligerantes y aislantes tanto térmicos como acústicos: el *poliestireno expandido de alta densidad* (EPS) y los *bloques de concreto aligerado* contruidos con arcilla expandida. Estos últimos están compuestos por un grano hecho de arcilla expandida, utilizado como sustituto de la piedra o arena en las mezclas, asegurando la resistencia de éstas y disminuyendo el peso de los bloques.

En Venezuela es común construir estructuras con paredes, losas de entrepiso y losas de piso utilizando los materiales anteriormente mencionados, cumpliendo con la normativa establecida COVENIN 3808:2003 [1], en su uso para: a) el *poliestireno expandido de alta densidad* debe ser auto extingible, y no generar gases nocivos que afecten al ser humano; y b) los *bloques de concreto aligerados* con arcilla expandida, se debe realizar una correcta dosificación en la mezcla y garantizar su buen funcionamiento en el caso de los frisos. Para este último caso el fabricante debe dar garantía de su adecuada composición.

## 2. DESARROLLO

Pignatta y Silva [2], realizaron un trabajo de investigación titulado “Estructuras de acero en situación de incendio”, en el cual hacen mención del incendio ocurrido el 17 de octubre de

2004 en la Torre Este del Parque Central de Caracas, Venezuela. El mismo se inició en el piso 34 de uno de los edificios más altos de América del Sur, propagándose hasta el último piso, con una duración de aproximadamente 17 horas. La superficie de cada piso media cerca de 40m x 40m, siendo la estructura externa tubular de concreto y la interna de acero, con protección de Tiempo Requerido de Resistencia al Fuego (TRRF) de 4 horas, apoyado en grandes losas pretensadas. Sólo hubo daños localizados en las vigas secundarias de acero de poco espesor, y la estructura principal de acero y la de concreto presentaron un comportamiento adecuado ante el incendio.

Por su parte, M. Villasmil et al [3] estudiaron el comportamiento mecánico del concreto aligerado con poliestireno expandido e indicaron que la mezcla de concreto convencional es una masa plástica moldeable, al cabo de algunas horas comienza a endurecer adquiriendo el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido. En este tipo de mezcla el agregado tanto grueso como fino, constituyen cerca del 70% del volumen total del concreto, es importante por lo tanto estudiar sus propiedades, y seleccionar el agregado de mejor calidad, para obtener un material resistente y económico, de acuerdo a los ensayos recomendados por la Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN [4] [5]. El objetivo principal de la investigación de Villasmil et al [3], era determinar la resistencia mecánica de concreto ligero elaborado con poliestireno expandido que sustituye el agregado grueso, cemento portland tipo I, y arena blanca, definiéndose la dosificación de la mezcla para diferentes densidades de mezcla.

En otra investigación de Barrios y Vásquez [6], con el propósito de estudiar el comportamiento estructural de un sistema constructivo no tradicional de muros portantes con núcleo de poliestireno de alta densidad tipo emmedue o similar, sometido a solicitaciones horizontales y verticales, y surgen para dar respuesta al sector construcción, con el fin de experimentar nuevas técnicas y procedimientos de fabricación, han surgido al mercado sistemas constructivos no tradicionales como alternativas novedosas. Estos sistemas son prefabricados de material liviano, los cuales comprenden un conjunto de técnicas constructivas de tipo modular que permiten ejecutar cualquier tipo de obra que se encuentre dentro de su capacidad portante en forma rápida, económica y segura. Basados en ensayos experimentales a corte, compresión y flexión del panel muro de dicho sistema, realizados por la Universidad Tecnológica de Panamá.

Los fabricantes europeo de poliestireno expandido European Manufacturers of Expanded

Polystyrene por sus siglas en ingles EUMEPS [7] [8], realizaron un estudio sobre el comportamiento del mismo ante un incendio, tomando en cuenta las etapas de un fuego en un edificio, la contribución del EPS a su propagación, el humo, la toxicidad y la fusión y caída de gotas; concluyendo que es inflamable como muchos otros materiales de construcción, siendo esto relevante solo si evalúa el EPS como un material de aislamiento expuesto. No obstante la filosofía de seguridad frente al fuego de la Unión Europea ha sido desarrollada con el propósito de evaluar las estructuras o productos en condición final de uso, por lo tanto, existirán requisitos estipulados en relación con el elemento de construcción completo.

Adicionalmente, recomiendan firmemente que el EPS siempre deba estar protegido por un material de recubrimiento o totalmente encapsulado. Concluyendo que tomando en cuenta estos factores no representa un excesivo riesgo de incendio, ni destaca en un incremento del riesgo de densidad de humos cuando se instalan correctamente en las aplicaciones recomendadas.

La Asociación Argentina del Poliestireno Expandido [9], estudió el comportamiento al fuego del poliestireno expandido cuando es utilizado como material en la construcción, estableciéndose el comportamiento al fuego en términos de liberación de calor, propagación de la llama, producción y toxicidad de humos y su contribución a la propagación del incendio. Se incluye información detallada sobre sus características como base para evaluar su comportamiento cuando está sometido a fuentes de ignición; incluyéndose también en el estudio el comportamiento de los aditivos retardantes de llama.

Por otro lado, en el sumario de investigación de incendio National Fire Protection Association específicamente el ocurrido en el terminal del aeropuerto Düsseldorf, Alemania con un saldo de 17 muertos y 62 heridos [10]. Las autoridades alemanas determinaron que fue provocado por trabajos de soldadura que se realizaban en una calzada sobre el primer piso del edificio del terminal. Un soldador trabajaba sobre placas de expansión provocando la ignición del material aislante de poliestireno utilizado en el techo falso del primer piso.

Entre los varios factores que contribuyeron significativamente a las pérdidas materiales y al número de víctimas, se destacan los siguientes:

- Falta de medidas de seguridad durante los trabajos de soldadura
- Uso de material aislante inflamable en el techo falso del primer piso del terminal
- Carencia de sistemas automáticos de lucha contra incendios en el techo falso y en el área ocupada del terminal

- Aberturas verticales desprotegidas, que hicieron que el humo y las llamas avanzaran rápidamente hacia los pisos superiores

## 2. METODOLOGIA

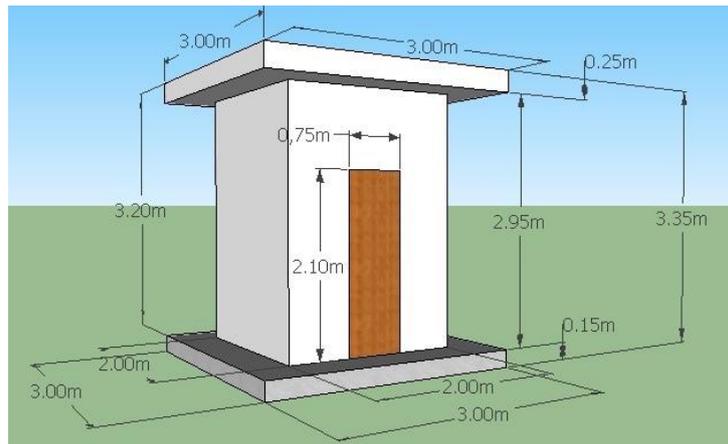
Para llevar a cabo el estudio, en primer lugar se recopiló toda la información necesaria relacionada con el poliestireno expandido de alta densidad, así como de los bloques aligerados con arcilla expandida mediante consultas de textos, manuales, normas, institutos, locales comerciales, publicaciones en internet, personal técnico capacitado que labore en fábricas de dichos materiales, e ingenieros que tengan experiencia con el uso en obras de dichos materiales. Luego de realizar la pesquisa en laboratorios certificados, y con permisos reglamentarios para llevar a cabo este tipo de estudio, se localizó a la empresa International Fire Services C.A. (IFSCA) ubicada en el municipio Simón Bolívar Tía Juana, sector Ezequiel Zamora, edificio IFSCA. Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. La cual cumplía con los requisitos requeridos y equipos especiales necesarios para la investigación.

Se construyeron estructuras en las instalaciones del Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), ya que cumplían con las características de confianza establecidas por el cuerpo de Bomberos del Municipio Iribarren. Una vez recopilada la información técnica y normativa de los materiales en estudio, seleccionada la empresa capacitada tanto para generar, como controlar el incendio, medir las temperaturas y gases emitidos durante el mismo, así como, con los materiales, permisos y el espacio físico necesarios disponibles, y el proyecto de las estructuras a evaluar, se procedió a dar comienzo al proceso constructivo de los módulos o prototipos.

### 2.1. Prototipos o módulos a ensayar

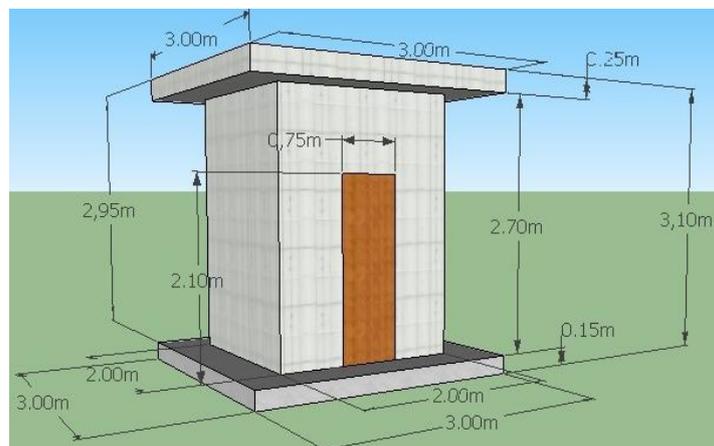
Esta investigación al ser financiada por una empresa privada de la ciudad de Barquisimeto, PIOVESAN, la cual produce bloques aligerados de arcilla expandida, pudo desarrollar la misma sobre otros materiales además de los inicialmente propuestos, en ese sentido, se tuvo un valor agregado al conocer el comportamiento ante la acción del fuego sobre bloques de arcilla y concreto. Se construyeron cuatro estructuras (A, B, C y D) de características generales siguientes y apreciadas en la figura 1:

- Losa de fundación: 3.00 m x 3.00 m x 0.15 m de espesor
- Área del prototipo: 2.00 m x 2.00 m
- Altura del prototipo: 2,95 m (A) y 3,20 m (B, C y D)
- Puerta: 2,10 m x 0,75 m
- Ventana: 050 m x 0,50 m
- Losa de techo nervada: 25.00 cm de espesor



**Figura 1.** Vista frontal del prototipo. Fuente: los autores

Módulo A: se construyó con paredes de paneles de poliestireno expandido de alta densidad al igual que los bloques de la losa nervada (ver Figura 2) y su revestimiento fue de una mezcla de friso comercial a la cual solo debe adicionársele agua.



**Figura 2.** Módulo A. Prototipo de poliestireno expandido de alta densidad. Fuente: los autores

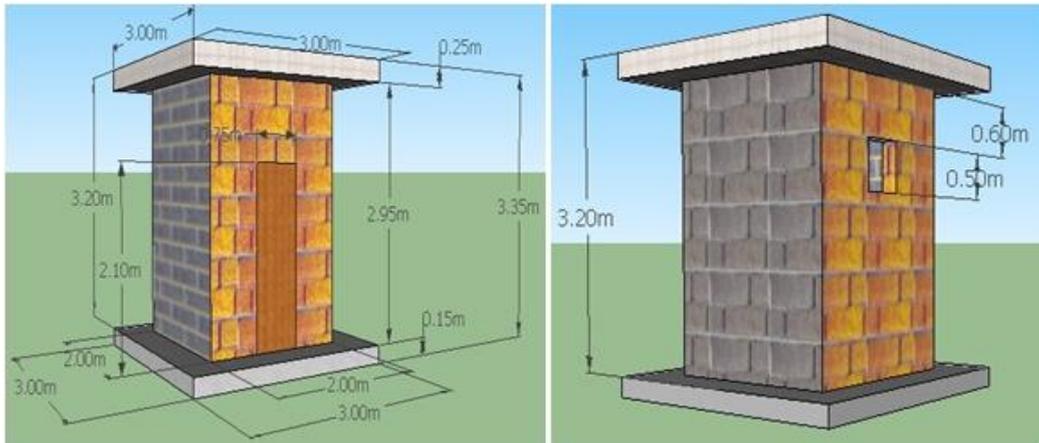
Módulo B: se construyó con paredes y losas de bloques de concreto aligerado con arcilla expandida (ver Figura 3) con el revestimiento anteriormente mencionado.



**Figura 3.** Módulo B. Prototipo de bloques aligerados con arcilla expandida. Fuente: los autores

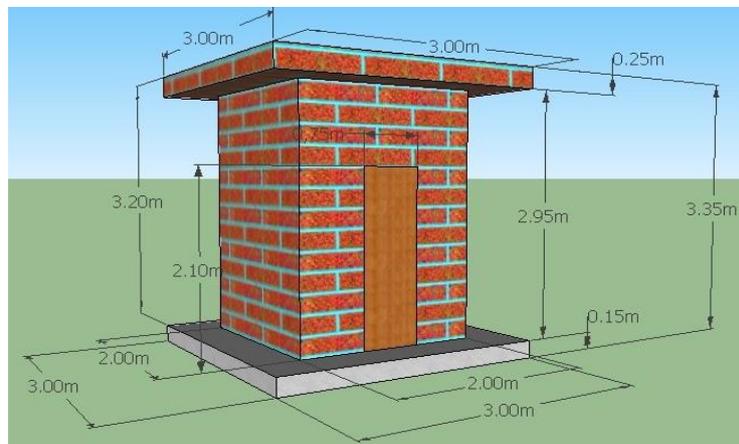
El friso se colocó con un espesor de 0,5 cm, ya que la superficie de los bloques era lo suficientemente rugosa para permitir una buena adherencia y la verticalidad accediendo el aplomado. Para pegar los bloques se utilizó una mezcla lista comercial, a la cual debe agregársele agua para ser colocada.

Módulo C: llamado “mixto”, se construyó con una pared de bloques de concreto aligerado con arcilla expandida, otra pared con bloques de concreto y las otras dos paredes de bloques de arcilla, para la losa nervada se utilizaron bloques de poliestireno expandido de alta densidad (ver Figura 4). Se aplicó un espesor de friso de 1,5 cm, realizando la primera capa de revestimiento tipo salpicado para lograr la rugosidad necesaria en la superficie, y posteriormente se colocó la segunda capa de friso logrando el acabado liso y totalmente vertical. De igual manera que el módulo B, se usó una mezcla lista comercial a la cual debe agregársele agua para ser colocada.



**Figura 4.** Módulo C. Prototipo “Mixto” vista anterior y posterior. Fuente: los autores

Módulo D: se construyó con paredes y losa nervada de bloques de arcilla (ver Figura 5). Con espesor de friso y pega de bloques bajo el mismo procedimiento aplicado en el módulo C.



**Figura 5.** Módulo D. Prototipo de bloques de arcilla. Fuente: los autores

## 2.2. Descripción de la sistemática del ensayo

Culminada la construcción de las cuatro estructuras a ensayar se comenzó con el período de espera de 28 días, para asegurar que el concreto y el mortero de revestimiento hubiesen alcanzado los valores normalizados de resistencia a la compresión. Durante este período se realizaron las inspecciones visuales del sitio, y de los módulos por parte tanto de la cuadrilla de bomberos del Municipio Iribarren para establecer los parámetros de seguridad antes, durante y después del ensayo, como del equipo especializado de trabajo de la empresa IFSCA para afinar los detalles pertinentes a la generación del incendio, así como, de la colocación y ubicación de los dispositivos de medición y control.

Los requerimientos solicitados a la empresa fueron:

1. Lograr temperaturas mayores a los 600 grados centígrados y registrar sus variaciones en el tiempo
2. Asegurar el esparcimiento del fuego dentro de cada módulo
3. Garantizar la continuidad del fuego durante un periodo de tiempo de 2 horas. Tiempo que la norma COVENIN 1093-78 [11] exige para certificar una prueba de resistencia de materiales de construcción.
4. Registrar los gases emitidos durante el incendio de cada módulo
5. Garantizar la seguridad de las instalaciones, equipos, y personal involucrado en el estudio

Posterior a los 28 días de iniciada la construcción, se procedió a la adecuación de los prototipos para la instalación subsiguiente de los equipos de medición para la fecha establecida del incendio, realizándose el día anterior las perforaciones pertinentes en los módulos. Se realizó el ensayo en el módulo D, siendo el método utilizado por la empresa para generar el incendio de dicho módulo el siguiente:

1. Se colocaron 4 medias pipas en los diferentes módulos con aproximadamente 90 litros de gasoil en cada uno de ellos, a esto se le agregó Kerosene como catalizador
2. En cuanto a los equipos utilizados para el registro y mediciones de temperaturas y gases, estuvieron los siguientes:
  - AreaRae: Equipo inalámbrico de medición de gases nocivos, inflamables y radiación.
  - Termocuplas: Para medición de temperaturas altas, se utilizó tipo K ( $\leq 1200$  °C).
  - Controlador de Procesos: “Monitor digital Fluke 743B”, para leer la temperatura que registraban las termocuplas.

- Termómetro: Equipo de medición de temperatura utilizado en la parte externa de la pared, que registró temperaturas hasta 160°C.
- Computadora Portátil: Para el registro en vivo de las mediciones de gases nocivos e inflamables.
- RaeLink: Modem inalámbrico que comunica los AreaRae con el software ProRae Remote instalado en la laptop, el cual permite el contacto vía radiofrecuencia entre el software y los detectores.

Los dos equipos de medición de gases nocivos se colocaron en las dos únicas entradas de aire de los módulos: puerta y ventana. Las termocuplas se instalaron en un tubo de acero resistente a altas temperaturas (Tubing), dentro de una perforación del mismo diámetro, realizada en una pared y en el techo de cada módulo. Cabe acotar, que se frisó nuevamente esas aberturas. Para la medición de la temperatura externa de cada pared se utilizó el termómetro conectado a un monitor, y para complementar las mediciones de dichas temperaturas externas se utilizó un Pirómetro digital. En la figura 6 se muestra un prototipo en su proceso de ignición.



**Figura 6.** *Incendio-Módulo D. Fuente: los autores*

A fin de determinar la caracterización físico-química de los materiales en estudio luego de los ensayos, se contó con toda la información que arrojaron los dispositivos de medición, la cual fue facilitada por la empresa contratada.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Caracterización anterior y posterior al incendio**

Una vez realizados los ensayos se pudo observar que el comportamiento en términos de transmisión de temperaturas y nocividad del módulo A fue el menos favorable a pesar de la apropiada acción de los retardantes de llama que no permitieron temperaturas mayores de 602°C, sin embargo su comportamiento en cuanto a estabilidad de la estructura fue el más

acorde y esperado debido al espesor de friso colocado y la malla electrosoldada que poseen los paneles empleados. No obstante los módulos B, y D no arrojaron resultados en cuanto a toxicidad alarmante, tienen un comportamiento favorable con respecto a la transmisión de temperaturas y un comportamiento mecánico no deseable frente a este tipo de fenómenos en las condiciones planteadas. Por otra parte, el módulo C por ser mixto y poseer una losa compuesta de poliestireno expandido emitió valores de toxicidad, sin embargo pudo verificarse un mejor comportamiento de la pared construida con bloques aligerados debido al mayor espesor de friso utilizado para este prototipo, por su parte, la pared construida con bloques de concreto convencional presentó un comportamiento favorable en cuanto a transmisión de temperatura, toxicidad de gases emanados y comportamiento mecánico. En cuanto al friso preparado y colocado sobre la superficie de los cuatro módulos, se puede decir que su comportamiento fue muy conveniente aun cuando el mismo fue de espesores variables; pudo soportar los cambios de temperatura de manera adecuada.

### **3.2. Comportamiento del poliestireno expandido de alta densidad y de los bloques aligerados con arcilla expandida ante el efecto del incendio**

A continuación se analizará el comportamiento del poliestireno expandido y del bloque aligerado frente a los efectos del fuego, el aumento y la transmisión de temperatura. Se estudió en un intervalo de duración común para los cuatro módulos en vista de que las duraciones de los ensayos fueron diferentes, por lo que se estableció la menor duración significativa a los primeros 40 minutos.

Por lo tanto, se obtiene para el módulo A un promedio de temperatura interna en techo de 461,06°C y un promedio de 253,82°C para pared interna, obteniéndose un promedio de temperatura interna de 357,44°C. Por su parte el promedio de temperaturas en pared externa fue de 62,41°C generando un diferencial de aislamiento térmico de 295,03°C. Esto quiere decir que a los 40 min de ensayo se presentó una menor capacidad de aislamiento térmico a pesar de estar sometido a temperaturas internas menores que al cabo de los 120 minutos en los cuales se produjeron mayores temperaturas y mayor capacidad de aislamiento térmico (diferencial de 338,79°C).

Para el módulo C se obtuvo un promedio de valores de temperatura interna en techo de 693,09°C y de 581,26°C para el promedio de valores en pared interna. El promedio de temperatura interna fue de 637,18°C con un promedio de temperaturas externas de 43,64°C formando así un diferencial de aislamiento térmico de 593,54°C. Los Valores promedios de los cuatro módulos pueden observarse en la figura 7.

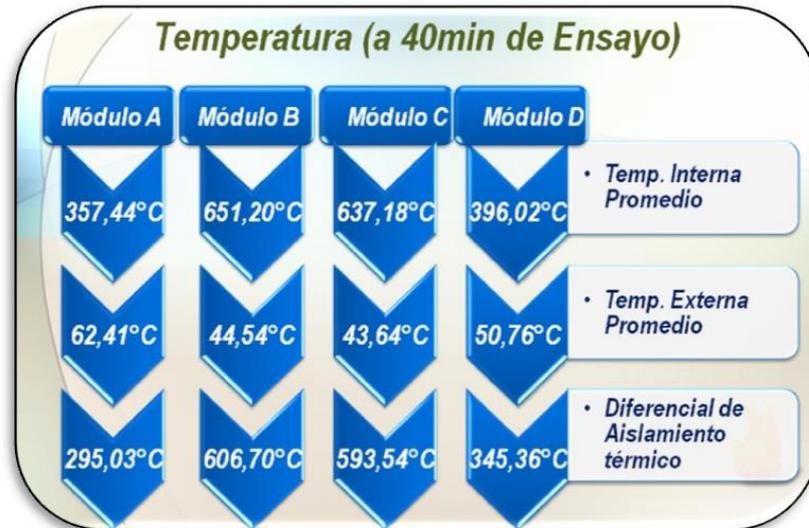


Figura 6. Diferencial de aislamiento térmico de los cuatro módulos a los 40 min de duración

### 3.3. Determinación de la toxicidad de los gases

Los dispositivos empleados para las mediciones de los gases emitidos en los cuatro ensayos realizados arrojaron valores de:

1. Monóxido de Carbono (CO) teniendo un límite de alarma baja para valores menores o iguales a 35 ppm y un límite de alarma alta para valores de 200 ppm
2. Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) con un límite de alarma baja para valores de 25 ppm y 100 ppm para la alarma alta, y Límite Inferior de Explosividad (LEL) con límite de alarma baja para valores del 10% y del 20% para alarma alta, según NFPA 704: “Riesgo de Materiales Peligrosos”, [12] UNE-EN-689: “Guía para la Evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con valor límite” [12], REACH (EC) 1907/2006 “Sustancias que emiten compuestos orgánicos volátiles”, [13] Decreto 638: “Normas de Calidad de Aire y Control de la Contaminación Atmosférica” Gaceta Oficial #4899 [14]. Todos estos registros para cada módulo, dependiendo de los materiales de construcción utilizados en los mismos.
3. Para el módulo A se registraron valores de CO de 45,4 ppm a los 22 min superando el límite de alarma baja notándose que sólo retomó un valor menor a 35 ppm luego de 1 hora 55 min.
4. Respecto a los valores de VOC se observó que desde el inicio del incendio el material comenzó a generar valores de 35,4 ppm en promedio durante todo el ensayo, valor que se encuentra por encima del límite de alarma baja. Para este parámetro el dispositivo también registró la activación de una alarma por exposición corta a un gas nocivo permitida para el

ser humano.

5. Para los valores de LEL se obtuvieron parámetros de 0,6% estando dentro del rango establecido.
6. Durante el ensayo en el módulo B se registraron valores promedio de CO menores de 35 ppm, sin embargo en el minuto 21 se observó un valor máximo de 35,7 ppm y luego volvió a bajar por lo que no se activó la alarma baja.
7. Los valores de VOC fueron en promedio 5 ppm durante todo el incendio lo que obviamente no activó ningún tipo de alarma al igual que los valores de LEL que estuvieron en un 0,6%.
8. Para el módulo C se verificaron valores de CO menores a 35 ppm, notando que desde el minuto 21 al minuto 30 se realizaron registros de más de 35 ppm superando el límite de la alarma baja.
9. Para el VOC se indicaron valores de 34,3 ppm en promedio durante todo el incendio lo que activó la alarma baja y la alarma de exposición corta a un gas nocivo permitida para el ser humano.
10. Los valores de LEL estuvieron en 0,6%.
11. Los valores de gases para el módulo D fueron registrados en un intervalo de tiempo corto.

En la tabla 1 se pueden observar los resultados para los 3 módulos significativos (A, B y C) en cuanto a valores de gases y activación de las alarmas en lo equipos usados para el estudio

**Tabla 1.** Valores de gases para los módulos A, B y C

Gases	ALARMAS		MODULOS		
	Baja	Alta	A	B	C
CO (ppm)	35.00	200.00	45.40	35.70	35.00
VOC (ppm)	25.00	100.00	35.40	5.00	34.30
LEL (%)	10.00	20.00	0.60	0.60	0.60

#### 4. CONCLUSIONES

En cuanto a las características físicas del revestimiento en su estado endurecido aunque presentó pequeñas fisuras por efecto de retracción, no se evidenciaron grietas ni exceso de fisuras que comprometan el comportamiento del friso, tal como se expuso en [15]. En relación con las características mecánicas del mortero endurecido, el valor promedio de resistencia a la

compresión medido en cubos fue de 104,82 Kg/cm<sup>2</sup> en el plazo a 28 días, lo cual se corresponde con una resistencia suficiente y aceptable para su aplicación como mortero reforzado sobre paneles de poliestireno o revestimiento sin reforzar para los bloques de concreto.

En relación a las características físicas del revestimiento después del incendio, se pudo evidenciar que a mayor espesor de friso menor daño del mismo. De igual manera, a pesar de las altas temperaturas, mayores a 1.000 °C, alcanzadas en los módulos B y C en estudio, no se presentó pérdida del friso en las paredes con más de 1,5 cm de espesor. En el módulo A los retardantes del poliestireno expandido de alta densidad funcionaron permitiendo mayor tiempo de exposición al fuego. Las condiciones físicas luego del incendio fueron estables bajo el sistema constructivo utilizado.

En el módulo las condiciones físicas luego del incendio fueron inestables, en razón de las grietas observadas en los bloques ubicados en las esquinas, bajo el sistema constructivo de bloque trabado utilizado. En el módulo C las condiciones físicas luego del incendio fueron inestables bajo el sistema constructivo utilizado (bloque trabado). Mientras que las condiciones físicas del módulo D luego del incendio fueron inestables bajo el sistema constructivo utilizado (mampostería confinada).

El efecto de la transmisión del calor fue evidentemente menor tanto en los bloques aligerados como en los bloques de concreto, por tanto el uso de este último sigue siendo oportuno, aunque no presenta beneficios de reducción de cargas de servicio en el diseño estructura. En cuanto a la toxicidad de los gases emanados durante el incendio, las cantidades de monóxido de carbono (CO) para el caso de paneles de poliestireno expandido y bloques de concreto aligerado, en ambos casos se superó el valor de alarma baja normativo.

En el caso de los Compuestos Volátiles Orgánicos (VOC), la cantidad de gases generados por el incendio de paneles de poliestireno expandido de alta densidad resultó siete veces mayor que para el caso de bloques de concreto aligerado; observándose que sólo en el módulo que contenían elementos de poliestireno expandido (A y C), se superó el límite de alarma baja de VOC. En cuanto al LEL, para todos los materiales evaluados se obtuvo el mismo resultado (0,6%), muy por debajo del valor de riesgo establecido en la norma (10%). Con respecto a los límites de exposición a gases generados por incendio para el ser humano, transcurridos 20 minutos luego de la señal de alarma baja por VOC, se activó la alarma de exposición corta

solamente en el caso de los módulos con elementos de poliestireno expandido (A y C).

## 5. REFERENCIAS

- [1] COVENIN 3808:2003. Edificaciones: paneles aligerados y reforzados. Requisitos. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Venezuela. 2003
- [2] Pignatta, V. Estructuras de acero en situación de incendio. [http://www.construccionenacero.com/Articulos%20y%20Publicaciones/Bibliografia/Estructuras%20de%20Acero%20en%20Situaci%C3%B3n%20de%20Incendio.pdf?Mobile=1&Source=%2F\\_layouts%2Fmobile%2Fview.aspx%3FList%3D361757c4-ce31-4662-8f80-036f97c622da%26View%3Df0dc86ee-24ed-4113-98af-bfa79d22c53c%26RootFolder%3D%252FArticulos%2520y%2520Publicaciones%252FBibliografia%26CurrentPage%3D1](http://www.construccionenacero.com/Articulos%20y%20Publicaciones/Bibliografia/Estructuras%20de%20Acero%20en%20Situaci%C3%B3n%20de%20Incendio.pdf?Mobile=1&Source=%2F_layouts%2Fmobile%2Fview.aspx%3FList%3D361757c4-ce31-4662-8f80-036f97c622da%26View%3Df0dc86ee-24ed-4113-98af-bfa79d22c53c%26RootFolder%3D%252FArticulos%2520y%2520Publicaciones%252FBibliografia%26CurrentPage%3D1). 2011
- [3] Villasmil, M., Rodriguez, L., Titto, R. y Franco, A. Estudio del Comportamiento Mecánico del Concreto aligerado con Poliestireno Expandido. En: IV Congreso Nacional de Patología de la Construcción y Rehabilitación de Estructuras de Concreto Armado. Barquisimeto: Alconpat Venezuela, p.34. 2011
- [4] COVENIN 1753-03. Extractos referentes al uso de concreto liviano y a los sistemas entresijos. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Venezuela. 2003
- [5] COVENIN 3808:2003. Edificaciones: paneles aligerados y reforzados. Requisitos. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Venezuela. 2003
- [6] Barrios, M. y Vásquez, G. Estudio y Análisis del comportamiento estructural de un sistema constructivo no tradicional de muros portantes con núcleo de poliestireno de alta densidad tipo emmedue o similar, sometido a sollicitaciones horizontales y verticales. Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” (UCLA). Barquisimeto. 2010
- [7] EUMEPS Fabricantes Europeos de EPS. Libro Blanco del EPS. Publicación impresa. 2003.
- [8] EUMEPS Comportamiento del EPS en caso de incendio. Publicación impresa. 2010
- [9] AAPE. [online] Available at: <http://www.aape.com.ar/biblioteca.asp>. 2011
- [10] Aape.com.ar, (2015).AAPE. [online] <http://www.aape.com.ar/biblioteca.asp>. 2011
- [11] COVENIN 1093-78. Método de ensayo para determinar la resistencia al fuego de estructuras. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Venezuela. 1978
- [12] UNE-EN-689: “Guía para la Evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con valor límite”. 2009
- [13] REACH (CE) No 1907/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de diciembre de 2006. “Sustancias que emiten compuestos orgánicos volátiles”. 2006
- [14] DECRETO 638. 19 de Mayo de 1995. “Normas de Calidad de Aire y Control de la Contaminación Atmosférica”. Gaceta Oficial #4899. 1995
- [15] Yáñez, N., Valero, D. y Olavarrieta, M. A. Evaluación el comportamiento ante el calor de bloques de concreto aligerado y de poliestireno expandido de alta densidad usados en losas y cerramientos. Trabajo de Grado. Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” Decanato de Ingeniería Civil. Barquisimeto. 2014