

Desarrollo del fuego en compartimentos Parte II

Cuando un incendio no se encuentra confinado, gran parte del calor producido por el combustible ardiendo escapa producto de la radiación y convección. Piense en una pila de palets ardiendo en la mitad de un estacionamiento abierto; aunque al acercarse puede sentirse el calor radiante, la convección mueve el humo y los gases calientes hacia arriba y lejos del fuego. ¿Qué cambia cuando este fuego se ubica dentro de un compartimento?

Fig. 1: Demostración de comportamiento del fuego en una “casa de muñecas”.



Otros materiales en la estructura, como también las paredes, cielo raso y el piso absorben parte del calor radiante producido por el fuego. El calor radiante que no es absorbido es reflejado de vuelta, lo que ayuda a incrementar la temperatura del combustible y la tasa de combustión. El humo caliente y el aire calentado por el fuego suben por las paredes y se esparcen por el cielo, conduciendo así el calor a los materiales más fríos y elevando su temperatura. Este proceso de transferencia de calor sube la temperatura de todos los materiales en el compartimento y al calentarse así los combustibles, estos empezarán a pirolizar. Luego de un tiempo la tasa de pirólisis llegará a un punto donde será posible mantener una combustión con llamas y el fuego se propagará. Adicionalmente a la acumulación de la energía calórica producto del confinamiento, los incendios en compartimentos están influenciados por el patrón de ventilación existente. El tamaño del compartimento y el número y tamaño de aberturas que pueden proveer una fuente de oxígeno para continuar la combustión influyen en gran medida el desarrollo del incendio.

Etapas de un incendio

Aunque las definiciones de las etapas de un incendio pueden variar según la fuente que se consulte, el fenómeno de desarrollo del incendio permanece igual. Para nuestros propósitos, describiremos las etapas de un incendio como incipiente, crecimiento, totalmente desarrollado y decaimiento (ver figura 2). A pesar de que hagamos una división de las distintas etapas, debemos tener claro que el proceso realmente es continuo y las etapas van fluyendo una después de la otra y aunque quizás sea fácil definir las transiciones en el laboratorio, esto es mucho más complejo en un incendio real.

Fig. 2: Desarrollo del fuego en una estructura



Nota: la curva ilustra la tasa de liberación de calor. La forma de esta curva variará considerablemente según el tipo de combustible involucrado y el patrón de ventilación de la estructura. Aunque la temperatura generalmente sigue a la liberación de calor, la forma de la curva tiempo/temperatura puede ser diferente.

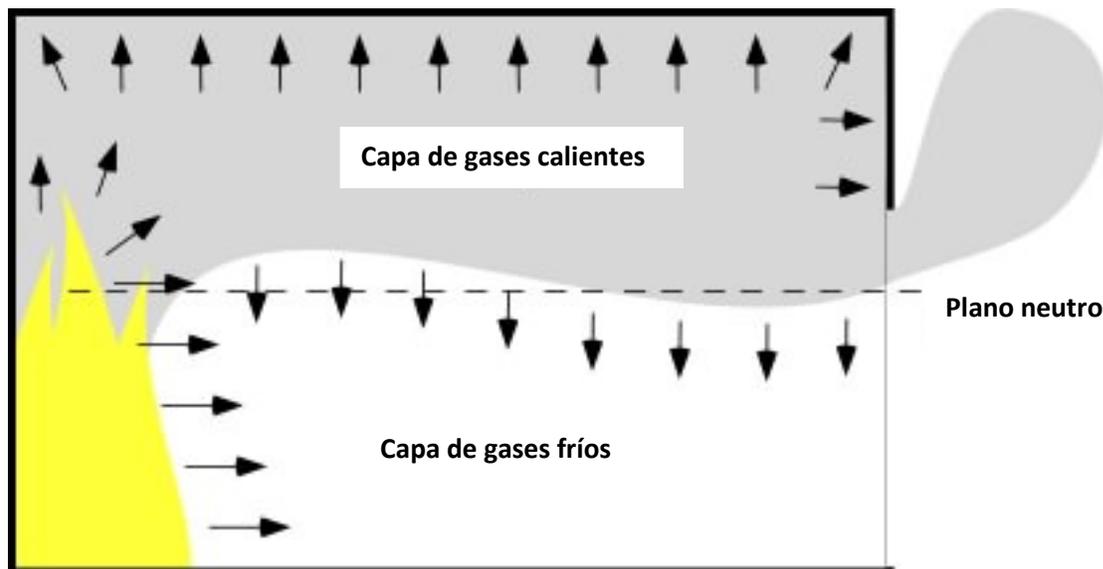
Incipiente: Esta etapa de desarrollo de un incendio puede definirse de dos maneras. La más simple consiste en un fuego que no ha impactado significativamente el ambiente dentro del compartimento (calor, toxicidad, visibilidad). Las regulaciones de la OSHA que tienen que ver con protección contra incendios (OSHA, 1993) definen esta etapa en términos del riesgo que presentan. Esta dice que un incendio en etapa inicial es aquel que puede ser controlado o extinguido con extintores portátiles o una manguera pequeña sin la necesidad de utilizar ropa protectora o un equipo de respiración autónoma.

Volviendo a lo básico en desarrollo del fuego, la ignición requiere de calor, combustible y oxígeno. Una vez que la combustión empieza, el desarrollo de un incendio en etapa de crecimiento

dependerá en gran medida en las características y configuración del combustible involucrado (incendio controlado por combustible), pues el aire en el compartimento será suficiente para mantener la reacción. Durante esta etapa inicial, el calor radiante calienta los combustibles cercanos y continúa el proceso de pirólisis y tendremos la formación de una pluma de gases calientes y llamas que se eleva y se mezcla con el aire frío dentro de la habitación. Esta transferencia de energía comenzará a subir la temperatura de la habitación. Cuando esta pluma llega al cielo raso, los gases calientes comenzarán a esparcirse horizontalmente. La transición entre un estado incipiente y uno de crecimiento es difícil de definir, sin embargo cuando las llamas se acercan al cielo, la capa de gases calientes se define más claramente y aumenta de volumen, podemos decir que el incendio ha pasado más allá de su etapa incipiente y si tiene suficiente oxígeno continuará creciendo más rápidamente. El incendio presenta entonces una amenaza inmediatamente peligrosa para la vida y la salud (IDLH) y la OSHA requiere entonces que se cumpla la regla de dos adentro/dos afuera (OSHA, 1993).

Crecimiento: A medida que el incendio continúa creciendo, la tasa de energía liberada por los combustibles ardiendo seguirá subiendo si tiene una cantidad suficiente de oxígeno. Aunque en la realidad es bastante más complejo, las temperaturas de los gases dentro del compartimento podemos describirlas en dos capas distintas: una capa caliente que se extiende desde el techo y una capa más fría más cerca del suelo, separadas las dos por el plano neutro. Adicionalmente a los efectos de la transferencia de calor por radiación y convección vistos anteriormente, la radiación desde la capa de gases calientes contribuirá en gran medida a calentar las superficies del compartimento y su contenido (ver figura 3).

Fig. 3: Transferencia de calor por radiación y convección.



A medida que el volumen y la temperatura de los gases calientes aumentan, también lo hace la presión. La gran presión de esta capa hace que ésta baje dentro del recinto y salga por las aberturas. A su vez la presión de la capa de gases fríos es menor, lo que resulta en un movimiento

hacia adentro de aire desde el exterior del compartimento. En el punto donde estas dos capas se encuentran al salir los gases calientes, la presión es neutra.

En este punto, el incendio puede seguir creciendo a través del avance de las llamas o por la ignición de otros combustibles dentro del recinto. Cuando las llamas de la pluma lleguen al cielo raso, estas se doblarán y se extenderán por éste, lo que causará que los productos de la pirólisis y los subproductos inflamables de la combustión incompleta se enciendan y continúen su expansión horizontal. Este fenómeno se conoce como rollover y es un claro indicador de un flashover inminente.

El flashover es la transición repentina de un incendio en crecimiento a uno totalmente desarrollado. Al ocurrir el flashover, hay un rápido paso a un estado en que las superficies de todos los combustibles del compartimento se ven comprometidas. Las condiciones necesarias para un flashover están definidas de muchas formas distintas, encontrándonos con algunos elementos comunes. En general, la temperatura del compartimento debe alcanzar entre los 500 y 600°C o el flujo de calor hacia el suelo debe alcanzar entre 15 a 20kW/m². Para explicar el flujo de calor en términos simples, en condiciones de flashover se transfiere suficiente energía calórica a cada metro cuadrado de suelo como para elevar la temperatura de un litro de agua de 20 a 100°C en menos de un minuto. Cuando se produce el flashover, los gases en combustión son empujados hacia afuera por las aberturas (como puertas o ventanas) a una velocidad considerable.

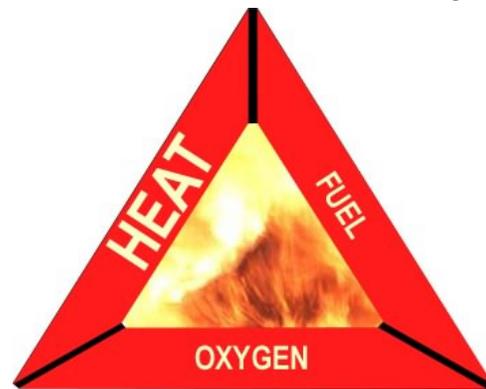
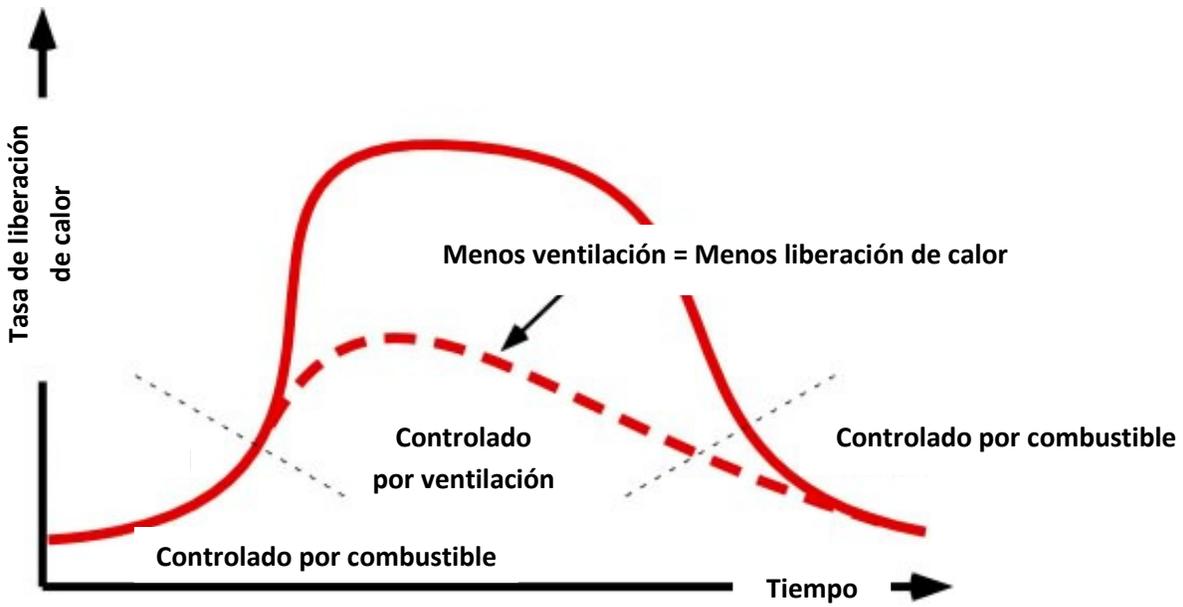


Fig. 4: Triángulo del fuego – Flashover.

El flashover es un fenómeno que no siempre ocurre y hay dos factores interrelacionados que tienen una influencia gravitante en el desarrollo de un incendio estructural y en la posible aparición del flashover. Primero, el combustible debe recibir calor de combustión para desarrollar condiciones de flashover. Por ejemplo, la ignición de varias hojas de papel dentro de un basurero metálico es improbable que tenga suficiente energía para producir un flashover en una habitación promedio. Por el contrario, la ignición de un sofá con espuma de poliuretano en la misma pieza seguramente terminará en flashover. El segundo factor de importancia es la ventilación., pues un incendio en desarrollo debe tener suficiente oxígeno para alcanzar el flashover. En estudios con modelos computacionales de una habitación de hotel, Birk (citado en 3D Firefighting; Grimwood, Hartin, McDonough y Raffel, 2005) determinó que cerrar la puerta prevenía que la habitación alcanzara el flashover (suponiendo que las ventanas estaban intactas). Si la ventilación es insuficiente, el incendio puede entrar en la etapa de crecimiento pero jamás llegar al tope de la liberación de calor de un incendio totalmente desarrollado.

Fig. 5: Desarrollo de un incendio con ventilación limitada.



Totalmente desarrollado: En esta etapa posterior al flashover, la tasa de liberación de calor alcanza su máximo, pero generalmente se encuentra limitado por ventilación. Los gases sin quemar se acumulan a nivel del cielo raso y frecuentemente se queman cuando salen del compartimento, lo que resulta en llamas saliendo por puertas y ventanas. El promedio de temperatura de los gases dentro de un compartimento en un incendio completamente desarrollado puede llegar a los 700 a 1200°C.

Fig. 6: Incendio totalmente desarrollado.



Decaimiento: A medida que el combustible se va consumiendo, la tasa de liberación de calor bajará y el incendio volverá a un estado controlado por combustible a medida que el suministro de oxígeno se vuelve adecuado para la tasa de combustión.

Controlado por combustible vs. Controlado por ventilación

La distinción entre un incendio controlado por combustible y uno controlado por ventilación es crítica para comprender el comportamiento del fuego. Como se menciona previamente, los incendios estructurales son controlados por combustible mientras se encuentran en la etapa incipiente y en la primera parte de la fase de crecimiento y nuevamente cuando el incendio empieza a decrecer y se reduce nuevamente la demanda de oxígeno. Son de particular interés los factores que influyen en el desarrollo de un incendio controlado por combustible (ver tabla 1).

Tabla 1: Factores que influyen en un incendio controlado por combustible.

Masa y área de superficie	Mientras más superficie tenga un combustible, más fácil será que éste sea calentado hasta su temperatura de ignición.
Composición química	La composición química afecta la cantidad de energía liberada durante la combustión. Por ejemplo, el calor de combustión de combustibles como el papel y la Madera es de 33.494 MJ/Kg. Por otra parte, el calor de combustión de hidrocarburos como la gasolina es de 83.736 MJ/Kg. Muchos productos sintéticos como los plásticos tienen un calor de combustión similar a la gasolina.
Carga combustible	La cantidad total de combustible afecta el calor potencial que puede ser liberado.
Humedad del combustible	Aunque no es un factor para todos los combustibles, la humedad puede actuar como un elemento pasivo retardando la combustión.
Orientación	La orientación influye en como se transmite el calor. Por ejemplo, una pared de madera se calienta tanto por convección como por radiación, mientras el suelo es calentado más que nada por radiación.
Continuidad	Corresponde a la proximidad entre los distintos combustibles. Mientras más cercanos se encuentren estos (o más continuos), más fácil y rápido se extenderá el fuego. La continuidad puede ser horizontal (cielo raso) o vertical (pared).

Cuando un incendio se encuentra controlado por combustible, la tasa de liberación de calor y la velocidad de propagación serán limitadas por las características del combustible, pues el aire en el recinto y el patrón de ventilación proveen el oxígeno suficiente para el desarrollo del fuego. Sin embargo, a medida que el incendio crece la demanda de oxígeno se hace mayor y en algún punto (dependiendo del patrón ventilatorio) esta demanda será mayor al oxígeno disponible. En este punto el incendio pasa a estar controlado por ventilación.

Cuando el incendio se encuentra controlado por ventilación, los cambios en el patrón de ventilación influenciarán directamente el desarrollo del incendio. Reducir la ventilación (por ejemplo cerrando una puerta) reducirá la tasa de liberación de calor y enlentecerá el desarrollo del incendio. Aumentar la entrada de aire (abriendo una puerta o ventana) incrementará a su vez la tasa de liberación de calor y la velocidad de desarrollo del fuego. Los cambios en el patrón de ventilación del edificio pueden ser causados por el fuego (una ventana que no resiste el calor), por los ocupantes (dejando una puerta abierta) o por los bomberos (romper una ventana sin razón, no controlar una puerta).

Estudio de casos y preguntas

Al igual que en el artículo anterior, leer sobre comportamiento del fuego no es lo mismo que experimentarlo. Trate de conectar lo leído con alguna situación que le haya tocado vivir en algún incendio para intentar explicarla. Use las preguntas para facilitar esto.

- 1.- ¿Qué indicadores observaría para determinar si un incendio se encuentra en una etapa incipiente o si ya ha avanzado a una etapa de crecimiento?
- 2.- Busque fotos de incendios (por ejemplo Photo stories en www.firehouse.com) para practicar la identificación de incendios controlados por ventilación o por combustible. Discuta en el cuartel que impacto tendría en esos incendios la entrada a la estructura por parte de los bomberos con y sin ventilación vertical.

Actividades de aplicación

- 1.- Lea nuevamente la primera y segunda parte de este artículo y visite alguna estructura dentro de su sector. Haga una pre planificación de cuál esperaría que fuera el comportamiento del fuego en ese recinto. Enfóquese en como el fuego se propagaría por el edificio.
- 2.- Discuta su último incendio desde una perspectiva de comportamiento del fuego. ¿Cuáles eran las condiciones a la llegada? ¿Cambiaron las condiciones durante el trabajo? ¿Por qué se comportó el fuego de esa manera? Haga una relación entre las etapas del incendio y el control por combustible y ventilación.

Referencias

- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (1993). *29 Code of federal regulations, 1910.155 Fire protection*. Washington, DC: Author.
- International Fire Service Training Association. (1998). *Essentials of firefighting* (4th ed). Stillwater OK: Fire Protection Publications
- Karlsson, B. & Quintiere, J.G. (2000). *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Drysdale, D. (2000). *An introduction to fire dynamics*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Grimwood, P., Hartin, E., McDonough, J., & Raffel, S. (2005). *3D firefighting: Training , techniques, and tactics*. Stillwater, OK: Fire Protection Publications.

Texto original desarrollado por Ed Hartin.

Traducido y adaptado por Juan Esteban Kunstmann, Primera Compañía de Bomberos "Germania" de Valdivia, Chile, con permiso del autor.

Ed Hartin, M.S., E.F.O., es Jefe de Batallón del Servicio de Incendios Y Emergencias de Gresham en Oregon, Estados Unidos. Ed ha demostrado un gran interés en el comportamiento del fuego y ha viajado a Suecia, Australia, Gran Bretaña, Malasia, Croacia, Alemania y Chile para compartir su experiencia en el tema. Ed es además coautor del libro 3D Firefighting y fue el encargado de escribir el capítulo sobre comportamiento del fuego en la última edición del manual "Essentials of Firefighting" publicado por IFSTA.

Visite www.cfbt-us.com y Grupo de Discusión Técnica Bomberil en Facebook.