
Desarrollo del fuego en compartimentos parte 1:

Revisión del comportamiento básico del fuego

El conocimiento del comportamiento básico del fuego, nos provee de una base para comprender a cabalidad el desarrollo de un incendio en compartimentos, su propagación en una estructura así como de técnicas y tácticas para su combate y control. Aunque para algunos lectores esta información corresponderá a un repaso, intentaremos introducir algunos nuevos conceptos o formas de ver los fenómenos de comportamiento del fuego para ampliar su entendimiento. Al final de este artículo podrán encontrar una serie de preguntas de estudio y discusión, las que no deben ser tomadas como una prueba, sino como una forma de tratar conectar este comportamiento básico del fuego con lo que enfrentamos en los incendios estructurales. Estas preguntas pueden ser usadas además para generar un debate entre varios bomberos.

Lo básico

Si examinamos varios libros sobre el combate de incendios, nos encontraremos con múltiples definiciones distintas de combustión, sin embargo todas se refieren al mismo proceso: una reacción química (oxidación) que produce calor y luz (exotérmica) en la que se combina un combustible con oxígeno. En el caso más simple, tendremos que el oxígeno y el hidrógeno se combinan para generar calor y vapor de agua. Sin embargo, la mayoría de las veces esta reacción es bastante más compleja. En un incendio estructural típico, la gran cantidad de combustibles unidos a una ventilación limitada, generarán una mezcla tóxica y compleja de productos sólidos y gaseosos producto de esta reacción de oxidación.

Una forma clásica en que se ha representado los elementos claves de la combustión y su interacción es a través del triángulo del fuego. Este modelo sin embargo es incapaz de describir completamente los procesos físicos y químicos involucrados en la combustión, pero puede ser utilizado de manera efectiva para explicar la primera parte del comportamiento del fuego.

La combustión requiere de combustible y oxígeno en la proporción correcta, como también de una suficiente energía para iniciar la reacción. El combustible debe encontrarse en su fase gaseosa y hay algunos combustibles que ya se encuentran en este estado como el metano. Los líquidos deben vaporizarse antes de poder combustionar, pudiendo encontrar combustibles que liberan gases a temperatura ambiente (gasolina) y otros que requieren ser calentados (diesel). Sin embargo en el caso de los incendios estructurales, el combustible se encontrará generalmente en su estado sólido, como en el caso de la madera, papel y plásticos. Por ejemplo en el caso de la madera, al comenzar a aplicársele calor esta liberará vapor de agua. Si continuamos aplicando energía, esta madera comenzará a pirolizar y se descompondrá en elementos volátiles y carbono.

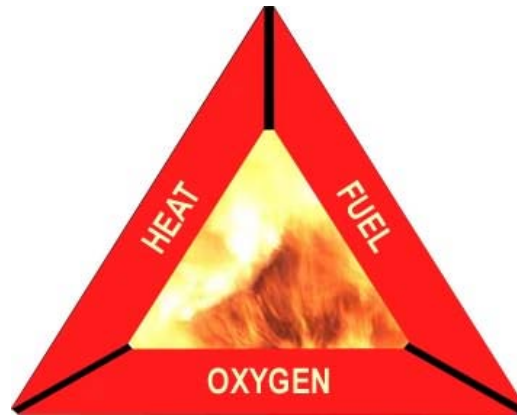


Fig. 1: Triángulo del fuego, donde los lados corresponden a calor, oxígeno y combustible.

La ignición requiere que el combustible ya en estado gaseoso y el oxígeno, en una proporción adecuada, sean calentados hasta su temperatura de ignición. Es importante notar eso sí, que no es necesario que el combustible sólido original sea calentado hasta su temperatura de ignición, pues basta con que la cantidad de vapor que se libera se mezcle con aire para que pueda producirse la ignición. El combustible gaseoso y el carbono arderán entonces de forma separada, generándose llamas en la combustión del gas. Por otra parte, la oxidación del carbono puede ocurrir en la superficie del combustible sólido, por ejemplo en las brasas.

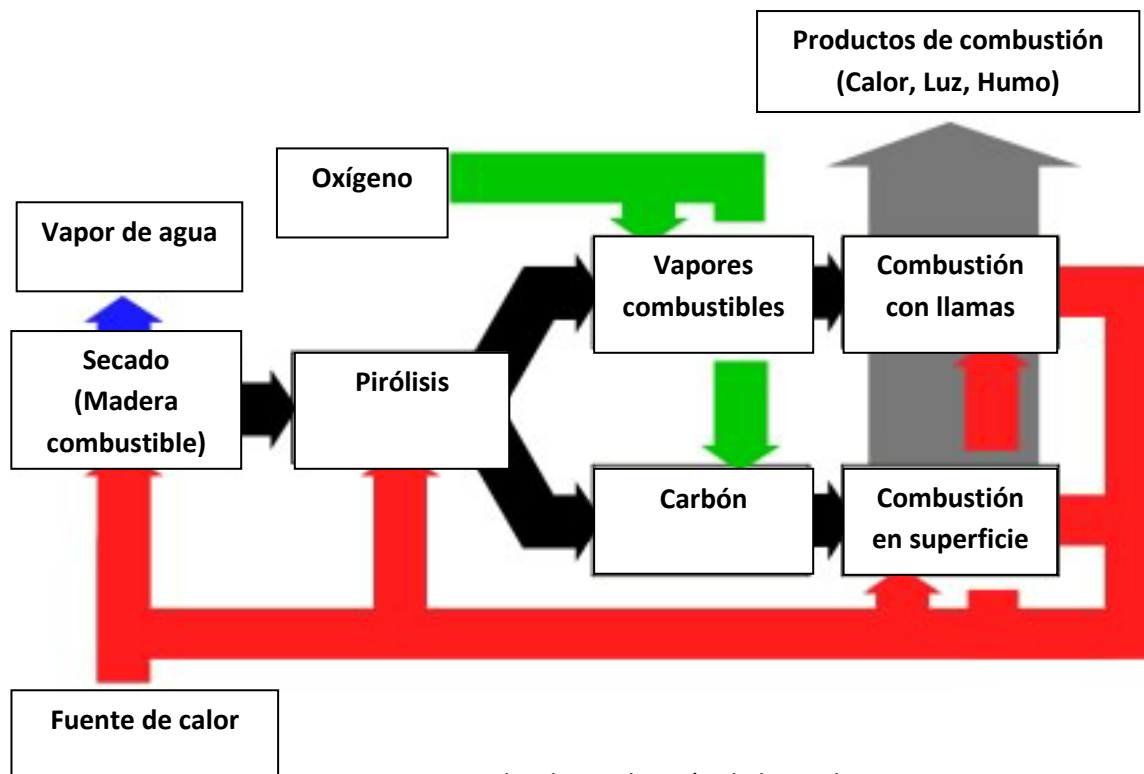


Fig. 2: Cuadro de combustión de la madera.

La pirólisis puede comenzar a temperaturas relativamente bajas y ocurre a temperaturas mucho más bajas de las que se requieren para la ignición de estos productos.

Tabla 1

Zonas de pirólisis	Temperaturas de ignición	
Zona A: Hasta 200° C La madera se seca y comienza una leve descomposición.	Carbono fijado:	407° – 590° C
Zona B: 200° – 280° C Se crea una gran cantidad de productos secundarios producto de la descomposición y comienza la carbonización.	Hidrógeno:	580° – 590° C
Zona C: 280° – 500° C Ocurre una pirólisis rápida, liberando o generando una amplia gama de compuestos químicos complejos. Hay reacciones entre estos productos y se forma carbón.	Metano:	650° – 750° C
Zona D: > 500° C La temperatura de la superficie del carbón es suficiente para inducir reacciones secundarias como la combinación de carbono libre y dióxido de carbono (asfixiante) para producir una gran cantidad de monóxido de carbono (tóxico e inflamable).	Etileno:	542° – 548° C
	Etano:	520° – 630° C
	Benceno:	740° C
	Monóxido de carbono:	644° – 658° C
	Las temperaturas de ignición están basadas en el rango de temperaturas encontradas en múltiples publicaciones. La temperatura de ignición puede verse afectada por la concentración de oxígeno en el ambiente.	
	La pirólisis de la madera produce una gama mucho más amplia de compuestos químicos complejos. Los materiales en esta lista son sólo algunos de los más representativos de este proceso.	

Productos de combustión

Así como el triángulo del fuego nos entrega un modelo en extremo simple de la combustión, generalmente la descripción de los productos de este proceso (calor, humo, luz) cae también en la simplicidad. De estos tres productos, los que más nos interesan como bomberos son el calor y el humo.

El calor se refiere a la cantidad total de energía en una sustancia, mientras que la temperatura es el término con que nos referimos al promedio de energía cinética. Un punto crítico entonces resulta en que el calor fluye de sustancias con alta temperatura hacia aquellos que tienen una menor temperatura. Esto resulta de particular importancia para comprender la propagación del fuego y las tácticas para su control.

El humo es un aerosol formado por gases, vapor de agua y partículas sólidas. Los gases de incendio, como el monóxido de carbono (CO) son generalmente incoloros, por lo que el color estará dado por la cantidad de vapor y de partículas sólidas en suspensión. Aunque generalmente el humo es percibido como menos peligroso que las llamas esto dista mucho de la realidad. Muchos de los componentes del humo son tóxicos y presentan una amenaza a la vida, además el monóxido de carbono presenta un rango de inflamabilidad más amplio que el del metano y propano y una temperatura de ignición mucho

más baja. Este peligro muchas veces no reconocido supone una amenaza significativa a los equipos de extinción, a menos que sean controlados por medidas efectivas de supresión y ventilación.



Fig. 3: Entrenamiento en una “casa de muñecas”.

Transferencia de calor

Para que un material comience a pirolizar y pueda ocurrir la ignición, el calor debe ser transmitido al combustible. La transferencia de calor cobra entonces una gran importancia para lograr un entendimiento acabado de la propagación del fuego y las tácticas para su control. El calor siempre es transferido desde una sustancia con mayor temperatura hacia aquellas con una menor temperatura a través de una de las tres formas de transmisión: radiación, convección y conducción.

Conducción: la transferencia de calor por conducción requiere que exista un contacto directo entre un objeto caliente y uno con menor temperatura. Este es el mecanismo predominante en las etapas iniciales del incendio.

Convección: corresponde a la transmisión de calor a través de fluidos calientes, como por ejemplo el aire o el humo. Cuando estos gases son calentados se vuelven menos densos, se expanden y además se elevan. Los productos calentados de la combustión, junto con los gases de pirólisis, al expandirse calentarán otros combustibles al contacto.

Radiación: un objeto caliente irradia ondas electromagnéticas en todas direcciones. El calor radiante es particularmente importante para el desarrollo de un incendio en un espacio cerrado y sirve como el mecanismo principal para la propagación de este incendio dentro del compartimento. Aunque generalmente asociamos la radiación con las llamas, cualquier objeto caliente es capaz de generar calor radiante. Los gases calientes y en especial las partículas de sólidos presentes en el humo (como el carbón) son capaces de irradiar una cantidad importante de calor.

El conocimiento y entendimiento de estas tres formas de transferencia de calor son esenciales para comprender como un incendio se irá desarrollando y lograr un uso eficiente del agua como medio extintor.

Otros conceptos importantes

En gran medida, nuestro interés en el desarrollo de un incendio involucra lo que hemos denominado combustión con llamas, abarcando el desarrollo desde una etapa incipiente hasta un incendio completamente desarrollado.

Cuando los gases combustibles deben mezclarse con el oxígeno directamente en la zona de combustión para generar una llama denominaremos a esta una llama de difusión o dilución, pues el gas combustible debe diluirse con aire para alcanzar su rango de inflamabilidad. En las llamas de difusión, el gas combustible se diluirá para formar una zona de reacción, donde el combustible, el aire y la fuente de energía se encontrarán en una correcta proporción para sostener la combustión. Si el gas combustible es mezclado con oxígeno antes de la ignición, tendremos una llama premezclada. Las mezclas de gases más ricas y las reacciones más eficientes corresponden a llamas premezcladas.

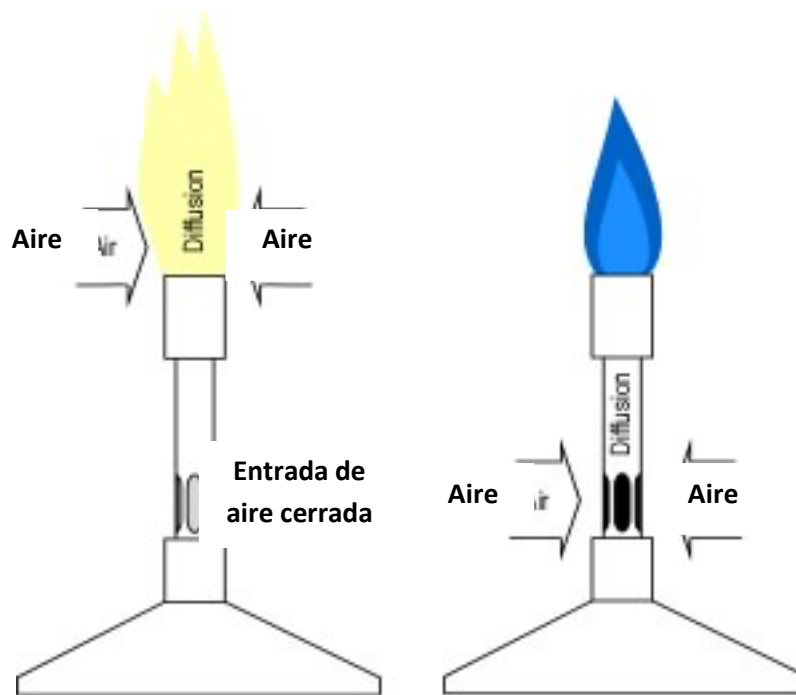


Fig. 4: Llamas de difusión y llamas premezcladas.

En la mayoría de los casos, el desarrollo de un incendio en un compartimento involucra llamas de difusión, pues los productos de pirólisis liberados desde los combustibles se mezclan con el oxígeno en la zona de combustión y esto puede ocurrir a una distancia considerable de la fuente combustible. Cuando los gases combustibles y el oxígeno son mezclados previos a la combustión, la mezcla será capaz de liberar una tremenda cantidad de energía (esto será revisado nuevamente más adelante).

Aunque el triángulo del fuego está formado por combustible, oxígeno y calor, hay otros componentes que pueden tener un gran impacto sobre el proceso de combustión y como un incendio se desarrolla. Algunos gases no combustibles presentes en el aire o el vapor de agua pueden absorber calor y enlentecer el proceso de ignición y combustión. Una simple demostración de lo anterior puede hacerse tomando dos hojas de diario y rociar una de ellas con una suave neblina de agua. Luego podemos intentar encender ambas hojas y veremos que es mucho más difícil o quizás imposible encender la hoja con la pequeña cantidad de agua, pues nuestra fuente de calor primero debe evaporar el agua del combustible. Aquellas sustancias que absorben calor pero que no participan en la reacción de combustión son conocidas como agentes pasivos. Este concepto es importante no sólo para comprender el progreso de un incendio, sino también para comprender las técnicas que utilizamos para la extinción y prevenir la aparición de un fenómeno de rápido desarrollo del fuego.

Preguntas de estudio y discusión

Leer sobre el comportamiento del fuego es bastante distinto a experimentarlo en persona, sin embargo debemos tratar de hacer una conexión entre la teoría y nuestra experiencia en terreno para lograr un entendimiento acabado y presenta una forma efectiva de aprender.

A continuación se presentan una serie de preguntas; intente relacionar lo visto hasta ahora con llamados de incendio que cualquiera puede haber experimentado.

1.- ¿Cómo influyen las labores de extinción y ventilación táctica los tres lados del triángulo del fuego? Recuerde, piense en los tres lados, no sólo el calor.

2.- ¿Cómo contribuye la expansión del humo caliente a través de la estructura a la pirólisis de los combustibles que se encuentran alejados del foco principal? ¿Cómo puede esto influenciar la propagación del fuego y los riesgos presentes para los bomberos?

3.- ¿Qué presenta un mayor riesgo para los bomberos, las llamas o el humo? ¿Por qué?

4.- ¿Cómo se transfiere el calor desde los materiales calientes al agua usada para extinguir? ¿Qué factores pueden afectar este proceso?

5.- Como se mencionó, la mayoría de las llamas en un incendio son de difusión ¿dónde podríamos encontrar llamas premezcladas?

6.- ¿Cómo podemos relacionar el concepto de agentes pasivos con el control y supresión del incendio?

Referencias

Pitts, W.M., Johnsson, E.L., & Bryner, N.P. (1994). Carbon monoxide formation in fires by high-temperature anaerobic wood pyrolysis. Twenty-Fifth Symposium (International) on Combustion. Pittsburg, PA. The Combustion Institute. 1455-1462.

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