

Limites de inflamabilidad

Durante un incendio, se forma la capa de humo. Una capa de humo es claramente una composición compleja de gases diferentes. En cierto momento, las llamas aparecen en esta capa. ¿Por qué ocurre esto, que la ignición se produce en un momento específico? Y ¿Por qué ocurre en esa localización? La respuesta simple es que en ese momento se forma "un triángulo del fuego completo". La mezcla (gaseosa) de combustible y de oxígeno ha alcanzado la temperatura determinada de autoignición. Muchos bomberos luchan con este concepto. ¿Cómo funciona realmente? ¿Por qué una cierta mezcla es muy pobre primero y luego más tarde es muy rica? El artículo de debajo intenta explicar todo esto de una forma comprensible.

1.1 Limites de inflamabilidad o explosividad

Los límites de inflamabilidad o los límites de explosividad son un concepto importante para entender completamente el comportamiento del fuego. Durante un incendio, una masa gaseosa de combustible se forma debido a la pirólisis. Estos gases de pirólisis pueden mezclarse con otros gases de sus alrededores. Cuando suficientes gases inflamables se han formado, se alcanza el límite inferior de explosividad. El límite inferior de explosividad (LIE) y el límite inferior de inflamabilidad (LII) son dos conceptos distintos para el mismo principio. Muchos bomberos probablemente habrán visto la abreviatura LIE en un multi detector de gases ("medidor de explosiones"). En este artículo, intentaré usar el término límite inferior de explosividad porque se ajusta mejor con el sentido deseado. En el momento en el que una mezcla de humo y aire pasa por este límite inferior, esta se puede inflamar. Como sucede en una mezcla, en una habitación, como un dormitorio, si está por encima del límite inferior no explotará. Como mucho se producirá una combustión lenta. Un hecho importante a tener en mente es que este artículo, en esencia, es sobre fuego y gases del incendio. Los gases del incendio contienen menos energía que el metano, que es el gas que se utiliza más adelante en este artículo para ilustrar los principios de los límites de inflamabilidad.



Figura 1 Ignición de una mezcla de gas y aire. En la imagen de la izquierda, la ignición acaba de ocurrir. El frente de llama se mueve de una forma circular en todas las direcciones. En la imagen de la derecha se muestra un incremento en el volumen de las llamas. (Photo's: Karel Lambert)

Después, cuando la cantidad de gases inflamables aumenta, el porcentaje de gas inflamable en la mezcla aumentará. En cierto momento, habrá demasiados gases

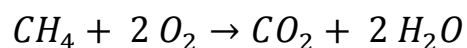
inflamables y la mezcla no podrá ser ya inflamada. Esto se llama el límite superior de explosividad (LSE) o más bien el límite superior de inflamabilidad (LSI).

Las mezclas de oxígeno y de combustible que están localizadas entre estos dos límites son inflamables. Ellas pueden ser inflamadas (ver figura 1 y 2). En algún lugar entre estos dos límites está la mezcla ideal y es la mezcla que causa las explosiones más violentas. El artículo no se extenderá sobre los límites explosivos del metano. El humo formado en un incendio, sin embargo, está compuesto por muchos y diferentes gases. Sin embargo, el metano es un buen sustituto para describir los principios de los límites de inflamabilidad.

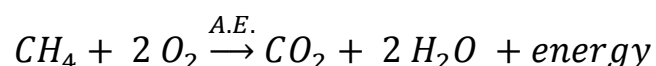


Figura 2 Estas fotos muestran el resto del proceso de reacción ilustrado en la figura 1. La imagen de la izquierda muestra la llama propagándose más lejos. Esto también se muestra en la imagen de la derecha. De esta forma, las llamas se propagan a lo largo de todo el volumen en el cual la mezcla está dentro del rango de inflamabilidad. (Photo's: Karel Lambert)

Debajo, está la ecuación química que describe la combustión del metano. El metano (CH_4), es el nombre científico del gas natural. Este gas se usa, por ejemplo, en el fuego de la cocina. El metano puede ser inflamado cuando el oxígeno (O_2) está presente. Normalmente, ambos componentes son gaseosos. En esta ecuación específica, hay una molécula de metano que reacciona con dos moléculas de oxígeno. Después de que la reacción haya tenido lugar, ya no hay más moléculas de oxígeno ni de metano. Una molécula de dióxido de carbono (CO_2) y dos moléculas de agua (H_2O) se ha formado. Una mezcla en la cual todo el oxígeno así como todo el combustible ha ardiendo, se llama mezcla estequiométrica. Este es otro nombre de la mezcla ideal.



Sin embargo, estas dos sustancias no son los únicos productos de la reacción. La combustión del metano es una reacción exotérmica. Esto significa que se produce energía también. Supongamos que una mezcla de metano y oxígeno se ha formado. En esta mezcla hay dos moléculas de oxígeno por cada molécula de metano. Imaginemos que un total de un kilogramo de metano está ardiendo. Esto producirá 50MJ (Megajulios) de energía. Los trabajos literarios sobre física del fuego ofrecerán información detallada sobre este tema, si es necesario.



La reacción no empezará por ella misma. Si tu abres la llave del gas del fuego de la cocina, el gas natural empezará a fluir. El gas se mezclará con el aire, pero no arderá espontáneamente. Requiere una fuente de ignición. Tanto el oxígeno y el gas natural tienen una temperatura de unos 20°C. La energía de ignición hará que la temperatura aumente en una localización específica, por lo que será lo suficientemente alta para empezar la reacción: la temperatura de ignición. Cuanta más alta sea la temperatura de ambos gases, menor será la energía de ignición necesaria. En otras palabras, requerirán mayor energía fuera, durante en el invierno con -20°C para inflamar la mezcla, que si estuviera durante el verano en el exterior, con temperaturas de 30°C. Después de todo, la mezcla necesitará ser calentada unos 50°C extra durante el invierno. Esto es un factor

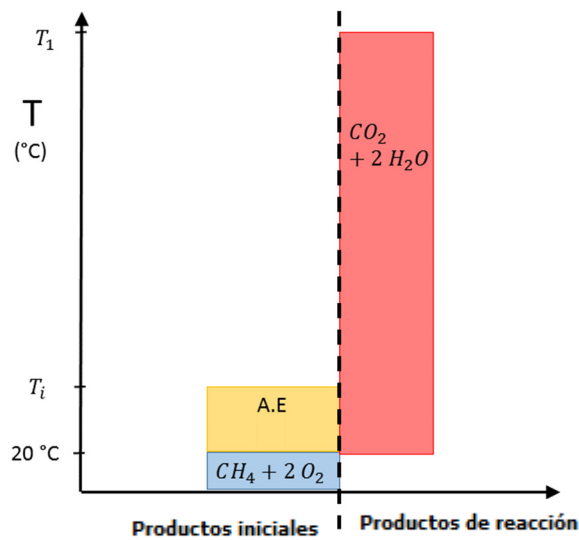


Figura 3 Ilustración gráfica de la combustión ideal del metano en oxígeno puro. Los dos productos (metano y oxígeno) están aproximadamente a la temperatura de la habitación (20°C). Una cierta cantidad de energía de activación es añadida y la reacción comenzará. Los productos de reacción son calentados hasta sus temperaturas finales.

(Drawing: Karel Lambert)

La energía que ha sido liberada se distribuye entre los productos de la reacción: CO₂ y agua

Cuando la ignición ocurre en la mezcla, se produce calor. Este calor se propaga hacia las moléculas vecinas. El calor producido sirve como energía de activación para las moléculas vecinas. Esto producirá una reacción en cadena. La llama se formará y se propagará a través de la mezcla. (Ver figura 1 y figura 2)

Es posible ilustrar esto en un gráfico. La figura 3 muestra la temperatura en el eje vertical. Los productos iniciales están en color azul: CH₄ y el oxígeno. En este caso particular, los productos iniciales tienen una temperatura de 20°C. Esta es también la temperatura inicial de la reacción. El área de superficie del rectángulo azul muestra la energía almacenada dentro de estos dos gases. Esto significa que no es el eje X el que representa la energía. La energía es ilustrada con el tamaño del área de superficie de los rectángulos. El eje X tiene los productos iniciales en la izquierda de la línea de puntos y en el lado derecho de la línea de puntos están los productos de reacción.

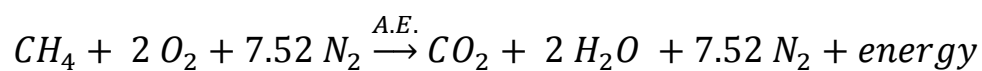
importante, porque el humo que proporciona el combustible durante el fuego puede diferir inmensamente según su temperatura. Cuanta más alta sea la temperatura del humo, menos energía será necesaria para inflamar el humo. Esta energía se llama energía de activación (EA)

La energía que es producida durante la reacción química hará que la temperatura de los productos de la reacción sea mayor que la temperatura inicial de los gases que habían empezado la reacción. La energía química contenida dentro del metano ha sido convertida en energía térmica. De hecho, es más correcto declarar que la energía es liberada durante la reacción. Antes de que el proceso de reacción tenga lugar, la energía es almacenada en el gas metano. En el habla cotidiana, simplemente decimos que la energía se produce. Este concepto también se utiliza en este artículo.

Como se estableció arriba, una cierta cantidad de energía de activación necesita ser añadida a los gases. Para ellos necesitamos una fuente de ignición. Esto puede ser una chispa, una cerilla, una superficie caliente... La cantidad de energía que necesita ser añadida, se ilustra con el rectángulo naranja, y tendrá que ser añadida hasta que los productos iniciales hayan alcanzado una cierta temperatura: temperatura de autoignición. La reacción misma se ilustra por la línea de puntos negra. Otra vez, a la izquierda de la línea de puntos, están los productos iniciales, y a la derecha los productos que se han formado durante la reacción. También durante la reacción, una enorme cantidad de energía se produce. Esta energía se usa para calentar los productos de la reacción. La figura 3 muestra que la temperatura final del CO₂ y del agua es considerablemente mayor que la temperatura inicial. La temperatura de los productos de la reacción se ilustra por T₁ en el dibujo.

La energía producida por la reacción se muestra por la superficie del rectángulo rojo. Esta energía térmica es el resultado del proceso de combustión. Necesita ser dicho que el eje vertical no está a escala real. Si el rectángulo rojo tuviera que ser dibujado en su tamaño real, sería de varios metros de altura, en vez de unos cuantos centímetros como está dibujado ahora. Esto significa que todas las ilustraciones que normalmente muestran la temperatura de los productos de reacción son "muy bajas"

Cuando miramos atrás a nuestro fuego de cocina, algo diferente de lo descrito arriba está sucediendo. En la cocina, el metano no arde en oxígeno puro. La mezcla actual contiene nitrógeno (N₂) junto al metano y el oxígeno. El aire en nuestro alrededor está compuesto por un 21% de oxígeno y un 79% de nitrógeno. Esto significa que por cada molécula de oxígeno hay 3,76 moléculas de nitrógeno presentes. La ecuación química para la combustión del metano en aire es la siguiente:



El gráfico de esta reacción también ha cambiado. En ambos extremos se ha añadido un elemento extra. La figura 4 muestra el nitrógeno como dos rectángulos verdes. El nitrógeno está presente antes de que la combustión tenga lugar. Y aunque no participa en la reacción química necesitará ser calentado hasta T_i. Después de todo, la naturaleza se esfuerza por mantener todo igual de cálido o frío. Si queremos inflamar una mezcla (o ponerlo diferentemente: si queremos calentar una mezcla hasta la temperatura de ignición), tendremos que añadir más energía que en el caso de la mezcla oxígeno-metano. Esto es lo que muestra claramente el gráfico. El tamaño del área del rectángulo naranja se ha incrementado sustancialmente. Una mezcla de metano y aire requiere una fuente de ignición más potente que una mezcla de metano y oxígeno.

El resultado de la combustión también es diferente. El nitrógeno no participa en la reacción química y puede ser encontrado después otra vez. Una mezcla con CO₂, agua y nitrógeno se forma. El calor producido es exactamente el mismo que en la situación previa. Después de todo, una cantidad igual de metano está ardiendo. Sin embargo, la cantidad de calor producida ahora tiene que distribuirse entre tres productos diferentes. El nitrógeno absorberá una gran cantidad de calor. La figura 4 muestra también que la temperatura final del proceso de reacción es más baja que la de la figura 3: T₂ < T₁. La superficie combinada del área de los rectángulos rojo y verde en la figura 4 es igual a la superficie del tamaño rojo en la figura 3. Esto puede ser visto claramente en el gráfico.

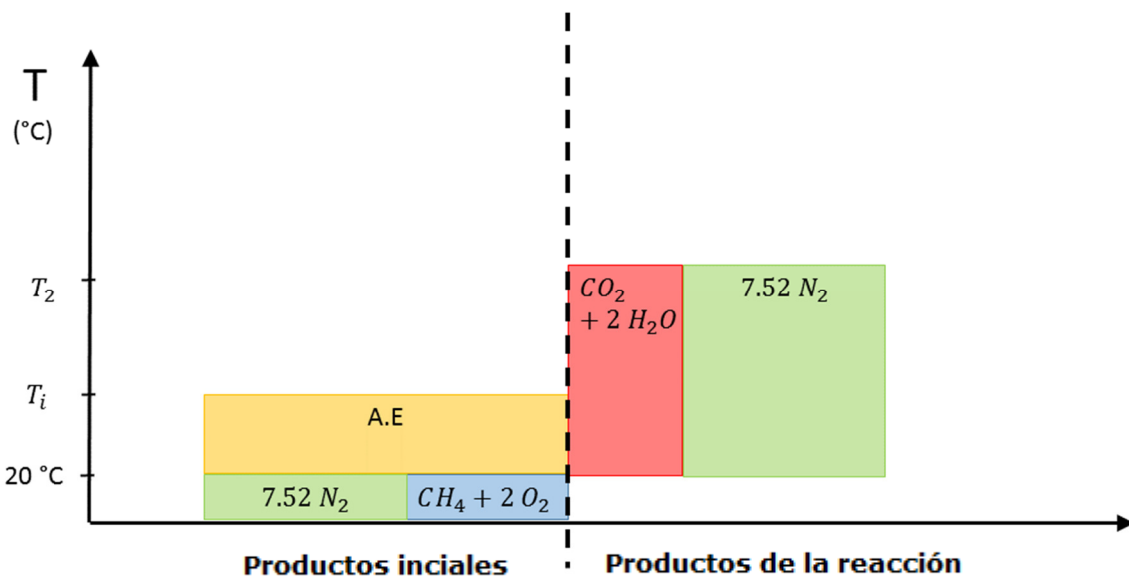
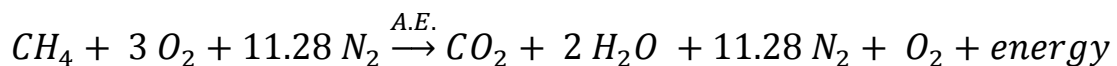


Figura 4 El gráfico ilustra la combustión ideal de metano en aire. Los rectángulos verdes muestran el nitrógeno que no participa en el proceso de combustión. La temperatura de los productos de reacción a la derecha de la línea de puntos es menor que en el dibujo previo. La superficie de los rectángulos rojo y verde a la derecha de la línea de puntos, representan la energía térmica. (Drawing: Karel Lambert)

Tanto las reacciones escritas arriba están tratando con mezclas ideales. En realidad, una mezcla ideal rara vez se presenta. O hay demasiado combustible, o habrá demasiado oxígeno. Esto afectará a la reacción. Imaginemos que hay ahora tres moléculas de oxígeno disponibles en vez de dos. La reacción seguirá el siguiente camino



Aparte del oxígeno extra, hay también nitrógeno extra en la mezcla. Para cada molécula de oxígeno hay 3.76 moléculas presentes de nitrógeno. La reacción cambiará una vez más. Entre los productos de reacción, podemos ver el exceso de esta molécula de oxígeno, y otra vez, esto cambia el gráfico.

A la izquierda de la línea de puntos en la figura 5 están los productos iniciales. El rectángulo azul continúa representando los productos que tomarán parte en el proceso de combustión: el metano y el oxígeno necesario para que arda esa cantidad de metano. El rectángulo verde muestra el nitrógeno. Sin embargo la cantidad de nitrógeno ha decrecido y por lo tanto el rectángulo verde ahora es más ancho. El rectángulo lila indica el exceso de la molécula de oxígeno. Estamos tratando con una mezcla pobre, aquí. Esto significa que hay menos combustible presente que en una situación ideal. El rectángulo naranja ha crecido en tamaño una vez más. Después de todo, todos los productos iniciales tienen que ser calentados hasta T_i y esto incluye el oxígeno que no participa en la reacción química.

En la derecha de la línea de puntos en la figura 5, están los productos finales de la reacción. El rectángulo rojo muestra los productos que han resultado en el proceso de combustión. Esto es igual que en los gráficos previos. Aparte de esto, está el nitrógeno (rectángulo verde) y el oxígeno (rectángulo lila) que no participan en el

proceso de reacción. La energía que está siendo producida, es igual que en las situaciones previas. La superficie del área del rectángulo rojo en la figura 3 es igual a la superficie combinada del área de los rectángulos rojo, verde y lila en la figura 5. Cuando comparamos todos los gráficos, se ve más claro que la temperatura de los productos de la reacción disminuyen conforme más elementos necesitan ser calentados: $T_3 < T_2 < T_1$.

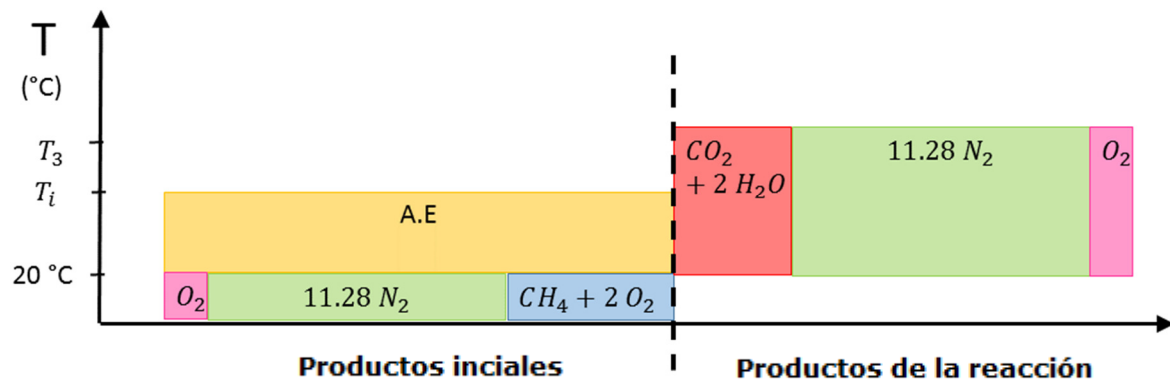


Figura 5 El gráfico ilustra la combustión de metano con un exceso de aire. Los rectángulos lilas muestran el exceso de oxígeno. Los rectángulos verdes se han ampliado en comparación con los gráficos previos. La temperatura final de los productos de reacción, a la derecha de la línea de puntos, es otra vez menor que en el gráfico previo. La superficie combinada del área de todos los rectángulos que ilustran los productos de reacción, es igual a la energía térmica producida por la combustión. (Drawing: Karel Lambert)

La temperatura de los productos de reacción actúa como una fuente de ignición para los gases vecinos. Esto significa que los productos de reacción tienen que proporcionar la energía de activación para los gases próximos a ellos. Los gráficos de arriba muestran que la energía de activación (EA) necesaria, está incrementando cada vez. Pero al mismo tiempo, podemos ver que la temperatura final de la combustión está decreciendo en cada gráfico ($T_3 < T_2 < T_1$). En cierto punto, habrá demasiado exceso de oxígeno (y de nitrógeno), que hará que los productos de reacción ya no estén lo suficientemente calientes para que actúen como fuente de ignición para los gases vecinos. Entonces, ya no será posible formar un frente de llama. Para una mezcla con demasiado aire para la cantidad de combustible, este es donde el límite inferior de explosividad o el límite inferior de inflamabilidad se ha alcanzado.

Después, en la figura 4, es posible añadir CH_4 extra en vez de oxígeno extra. Al final de este proceso de reacción habrá un exceso de metano en vez de oxígeno. Junto a eso, la cantidad de nitrógeno permanece la misma. El exceso de metano necesitará ser calentado por la energía de activación. Otra vez, este proceso requerirá más energía de activación ya que hay más metano presente de antemano. Este exceso de metano no arde y absorberá parte de la energía producida. Esto hará que la temperatura general de los productos de reacción disminuya. En cierto punto, esto llevará a una mezcla con demasiado metano, y el frente de llama no podrá ser formado. Este punto es igual el límite superior de explosividad o límite superior de inflamabilidad.

Los límites de explosividad son expresados en porcentaje de volumen. El límite inferior de explosividad (LIE) indica qué porcentaje de combustible necesita ser añadido al aire con el fin de formar una mezcla combustible. El límite superior de explosividad (LSE)

indica qué porcentaje de combustible necesita ser añadido para que la mezcla ya no sea combustible.

Substance	LEL or LFL (Vol %)	UEL or UFL (Vol %)
Hydrogen	4	75
Carbon monoxide	12,5	74
Methane	5	15
Ethane	3	12,4
Propane	2,1	9,5
Butane	1,8	8,4
Methanol	6,7	36
Ethanol	3,3	19
Acetone	2,6	13

El metano es un gas, comúnmente conocido como gas natural. El límite inferior de explosividad es 5%. Esto significa que una mezcla con suficiente gas natural que sea inflamable es: 5% metano y 95% de aire, o en otras palabras, 5% metano, 19.95% oxígeno y 75,05% de nitrógeno. El límite superior de explosividad es del 15%. Los valores de ambos límites son cifras redondeadas. A veces, en la literatura, se pueden encontrar números que están un poco más separados.

1.2 Lastre térmico

Cuando miramos los diferentes gráficos de arriba, podemos ver que la cantidad de gases que no participan en el proceso de combustión, se convierte cada vez más grande. Estos gases se "aprovechan" de la reacción. Ellos no contribuyen, pero quieren ser calentados por la energía de activación. Esto significa que más energía de activación es necesaria para inflamar la mezcla. Y posteriormente, quieren ser calentados por la energía que está siendo producida también. Esto lleva a menores temperaturas finales.

Este efecto es descrito también como lastre térmico. Las moléculas que no participan son lastres en el proceso térmico. Ellas hacen más y más duro el alcanzar una combustión decente. Cuando hay suficientes lastres, la combustión se vuelve imposible.

Los lastres térmicos es un concepto importante para el servicio de bomberos. Un ejemplo de esto, que no ha sido mencionado en la sección de arriba, es añadir vapor. Cuando los bomberos empiezan el ataque interior, tienen que enfriar gases. Para conseguir esto, finas gotas de agua se dirigen, en un patrón de niebla, dentro de la capa de humo. Las gotas de agua absorberán energía, extrayéndola de la capa de humo. Luego se forma el vapor. El vapor es un gas que se mezclará con el humo. Esto significa que un rectángulo extra necesitará ser añadido al lado derecho en los gráficos de arriba. El vapor no participa en el proceso de reacción, pero absorberá parte de la energía de activación y parte de la energía producida por la reacción. Insertando vapor a la mezcla, la mezcla puede volverse no inflamable.

En realidad, los lastres extraen calor en el proceso de combustión. Todo el calor que es absorbido por las moléculas que no participan en la combustión, es una "pérdida" al proceso de combustión

Es interesante el mirar dónde se produce la liberación de energía. En un incendio o en una reacción de combustión (por ejemplo una llama de una vela), la energía está siendo

producida en el lugar exacto donde la combustión se desarrolla. Luego, esta energía se propaga a través de la conducción, convección y radiación. Cuando demasiada energía desaparece de la zona de reacción, la combustión parará.

Este efecto puede ser estudiado con la ayuda de una vela. Una vela arde con una llama de difusión laminar. Esto significa que el oxígeno y el combustible están siendo constantemente mezclados en la superficie de la llama. Esto también significa que el extremo de arriba de la llama es "inflamada" por la energía que se produce en el extremo inferior de esta. Cuando un trozo de gasa metálica se pone en medio de la llama, esta se corta. Esto es debido a que la malla de metal absorbe y dirige el calor de la llama. Los gases inflamables continúan elevándose a través de la malla, pero transfieren el calor a través de la gasa metálica. Esta gasa transferirá posteriormente el calor a los alrededores. Encima de la gasa continua habiendo una mezcla de oxígeno y combustible pero ya no hay energía suficiente para inflamar la mezcla. Este fenómeno, donde una llama ya no puede propagarse porque la energía está siendo dirigida a otro sitio se llama quenching o enfriamiento.

En un incendio en un compartimento, este efecto juega un papel de diferentes formas. Las paredes de la habitación en la cual está el fuego, por ejemplo, actuará parcialmente como la gasa de metal. No obstante, su influencia en el fuego es más complicada. En los comienzos del incendio, las paredes absorberán calor. La cantidad exacta dependerá de las propiedades estructurales de esas paredes. Después de un tiempo, la superficie de las paredes estará muy caliente y la absorción de calor disminuirá entonces. Esto no es lo mismo para la gasa de metal. El metal tiene una fantástica propiedad de conducción de calor. La mayoría de metales usados en la construcción no tiene esas propiedades. Esto es por lo que la absorción de las paredes cambia después de un tiempo.

La segunda forma en la este efecto está presente en un compartimento incendiado es cuando los bomberos tiran gotas de agua a las llamas. Cada gota individualmente puede absorber una cierta cantidad de energía. Cuando dos gotas están muy juntas la una de la otra, absorberán tanta energía que una llama tendrá difícil el pasar a través de las gotitas. Una niebla de gotas de agua moviéndose a través del frente de llama actuará como una gasa de metal a través de una llama en una vela. La niebla de gotas de agua puede enfriar suficientemente como para parar la llama.

Los lastres térmicos también trabajan de otra forma. La figura 4 ilustra la combustión del metano en aire. Ambos gases están a la temperatura de la habitación hasta la ignición. La energía de activación necesita calentar los gases suficientemente en una localización específica para empezar la reacción

En el texto anterior, el metano se usa para ilustrar la inflamabilidad del humo. El humo raramente está a la temperatura de la habitación. La temperatura del humo está determinada por la tasa de liberación de energía del incendio. Cuando el humo caliente se eleva y se mueve lejos del incendio, se mezcla con el aire. Esto hace que el humo se enfríe. La figura 6 ilustra la combustión ideal del metano y del aire. Al contrario que la figura 4, la mezcla de gas y de aire está ahora a temperatura mayor que la de la habitación. La temperatura de la mezcla está sobre 200°C. Cuando miramos a la figura 6 en comparación con la figura 4, vemos ahora que se necesita menos energía de activación. La superficie del rectángulo naranja es ahora menor. Encima de eso, la temperatura final de los productos es 180°C mayor. Después de todo, una misma

cantidad de energía continúa siendo producida durante la combustión. Desde que la temperatura inicial es 180°C mayor que en figura 4, la temperatura final será 180°C mayor también. Esto se muestra por el rectángulo verde y rojo que están más arriba en el eje de abscisas de la figura 6 que en la figura 4: $T_4 > T_2$.

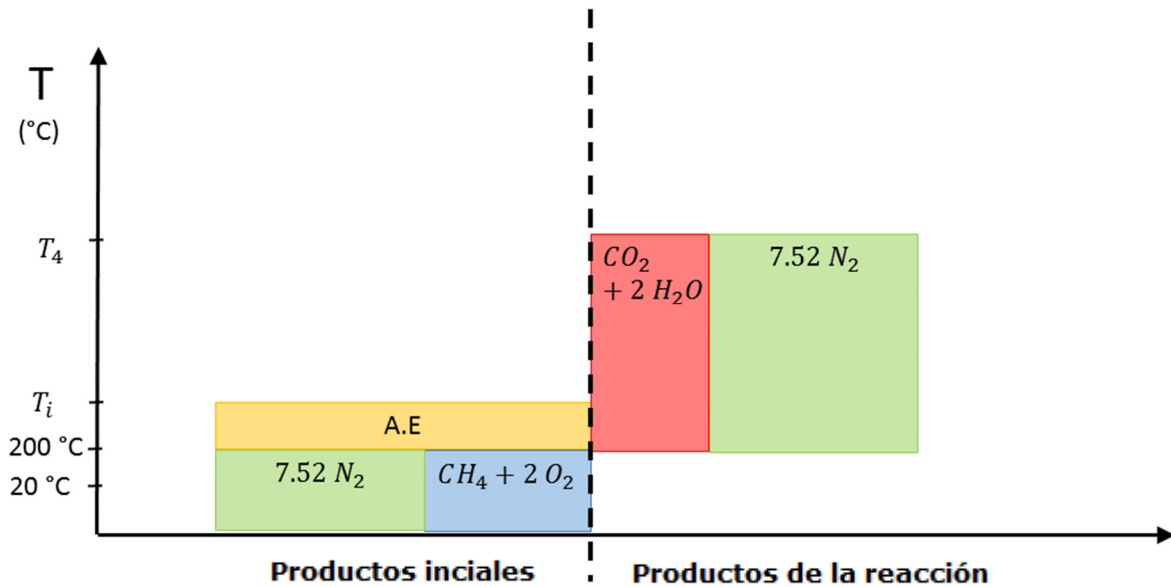


Figura 6 Gráfico que ilustra la combustión ideal de metano en aire. Ambos elementos tienen una temperatura inicial de 200°C. Esto significa que la energía de activación necesita ser menor que la necesaria para inflamar la mezcla a temperatura de la habitación. Esto se muestra por el rectángulo naranja que tiene menor superficie que el de la figura 4. (Drawing: Karel Lambert)

Otro aspecto importante de una temperatura inicial mayor, es que el rango de inflamabilidad se amplía y la cantidad de energía de activación disminuye.

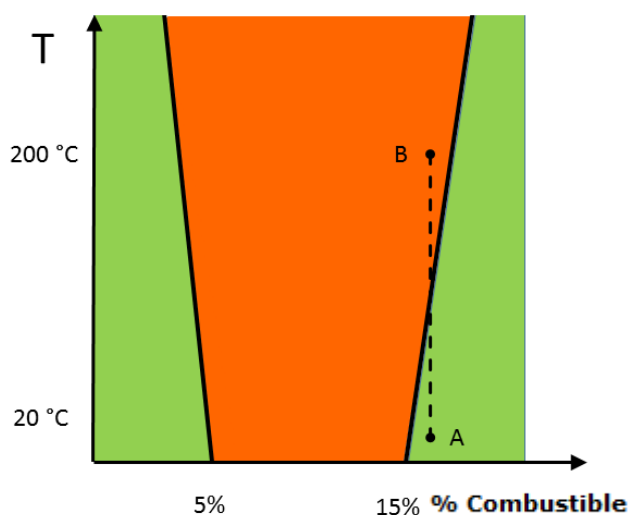


Figura 7 Los límites de explosividad del metano en relación con la temperatura. La mezcla en el punto A es no inflamable. Cuando la mezcla se calienta de los 20°C a los 200°C entra el punto B. El punto B está dentro del rango de inflamabilidad. (Drawing: Karel Lambert)

En los gráficos de arriba, nosotros explicamos unas ciertas mezclas que no podían inflamarse por que la combustión no proporcionaba suficiente energía de activación para otras moléculas. Una mezcla que no puede ser inflamada a 20°C, porque la energía de activación necesaria es mayor que la producida, quizás pueda ser inflamada a 200°C. La cantidad de energía producida se ha mantenido igual, mientras que la energía de activación requerida ha sido menor. Esto significa que el rango de inflamabilidad se expande cuando la temperatura aumenta. Esto es especialmente importante durante las operaciones de los bomberos.

Después de todo, los bomberos trabajan típicamente en temperaturas excepcionalmente altas. La figura 7

muestra como una mezcla con más del 15% de metano (punto A) es no inflamable a temperatura de 20°C. Cuando la mezcla se ha calentado, se convertirá en inflamable en cierto momento. Podemos ver claramente que el punto B está dentro del rango de inflamabilidad mientras que antes estaba fuera de él. La única cosa que ha cambiado es la temperatura.

1.3 Observaciones finales.

Finalmente, necesitamos enfatizar que los párrafos de arriba son simplificaciones de la realidad. El metano es usado porque sirve como un sustituto fácil. Encima de esto, el metano es el gas usado en nuestras cocinas. Todo el mundo conoce el gas natural.

Durante un incendio una mezcla inflamable no se forma solo con metano y aire. La mezcla está formada por los gases del incendio y gases de pirolisis mezclados con aire. Los gases del incendio están compuestos por diferentes gases, aparte del CO₂ y del agua. Gases como el CO y el HCN están siendo producidos junto con otros. Cada uno de ellos tiene su propio rango de inflamabilidad y temperatura de autoignición. Encima de esto, grandes cantidades de gases de pirolisis se están produciendo. Cuanto menos aire haya para la combustión, mas gases de estos se formarán. Los gases de pirolisis se comportan de forma diferente al metano y a los gases del incendio.

Así que en realidad, la situación es más compleja de lo descrito arriba. Sin embargo, la ilustración simple que usa metano, puede ser suficiente para ayudar a explicar los límites de inflamabilidad. Estos límites, a su vez, son muy importantes para clarificar los incendios de desarrollo rápido como backdraft, flashfire y la explosión de humo. Es por eso que vale la pena para los bomberos el estudio de los límites de explosivos un poco más en profundidad.

2 Bibliografía

- [1] *Introduction to fire dynamics 2nd edition, Dougal Drysdale, 1999*
- [2] *CFBT-instructor course for the Attack Cell, Karel Lambert, 2016*
- [3] *International fire behavior and suppression course, Lars Ågerstrand, Zweden, 2016*

Karel Lambert