



**BOMBEROS C.E.I.S. de la
REGIÓN DE MURCIA**

TEMA 2 PARTE ESPECÍFICA

1. **TEORIA DEL FUEGO. NATURALEZA DEL FUEGO.**
2. **TRIÁNGULO DEL FUEGO: COMBUSTIBLE, COMBURENTE Y ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.**
3. **TETRAEDRO DEL FUEGO. ELEMENTOS PARA LA CONTINUIDAD DEL FUEGO: REACCIÓN EN CADENA.**
4. **QUÍMICA DEL FUEGO.**
5. **TEORÍA DE LA COMBUSTIÓN. TIPOS DE COMBUSTIONES.**
6. **CLASIFICACIÓN DE LOS FUEGOS SEGÚN NORMA UNE.**

1. TEORÍA DEL FUEGO. NATURALEZA DEL FUEGO.

Una de las definiciones más típicas de la palabra fuego es "*fenómeno de desprendimiento de energía que se produce al arder un cuerpo*", siendo también muy habitual asimilarlo al término "*incendio*". En términos generales, lo que normalmente se conoce como fuego hace referencia a los efectos pero no a la causa de un fenómeno bastante complejo que en lenguaje químico se conoce como **combustión**. Dicho de otro modo, en la mayoría de los casos, el empleo del concepto fuego, se refiere exclusivamente a los resultados del fenómeno químico, pero no al fenómeno en sí.

La norma **UNE EN ISO 13943:2012** define **fuego** como una combustión autoportada que ha sido deliberadamente puesta en marcha para beneficiarse de sus efectos y que está controlada en su duración y su extensión espacial, diferenciando pues respecto de un **incendio** en que este último, aun respondiendo al mismo proceso físico-químico, se propaga de manera incontrolada.

2. EL TRIÁNGULO DEL FUEGO: COMBUSTIBLE, COMBURENTE Y ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.

Para que una combustión se inicie es necesario que concurren **tres elementos**: una sustancia que arda, denominada **combustible**, que es el agente reductor de la reacción, otra sustancia oxidante, llamada **comburente**, y una cantidad de **energía** que acelere la oxidación y aporte la velocidad necesaria a la reacción. La representación pedagógica de los mismos se realiza mediante el llamado "**Triángulo del fuego**", que simboliza la estrecha relación que existe entre todos ellos para que se produzca el inicio de una reacción de combustión, debiendo estar presentes a la vez y, además, en las proporciones adecuadas.

Desde el punto de vista químico un **combustible** es un material que puede ser oxidado, jugando el papel de agente reductor que cede electrones en una reacción de oxidación, y reduce al comburente. En otras palabras, cualquier sustancia capaz de arder sea sólida, líquida o gaseosa.

La práctica totalidad de sustancias combustibles están formadas por cinco elementos químicos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, si bien la proporción de los tres últimos suele ser muy pequeña en comparación con los dos primeros. Así, por ejemplo, los hidrocarburos (formados únicamente por carbono e hidrógeno) constituyen el grupo más numeroso de sustancias combustibles, y entre ellos encontramos el metano (CH_4), el propano (C_3H_8) o el butano (C_4H_{10}). Otros compuestos combustibles son la celulosa ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$); los alcoholes, como el metanol (CH_3OH) y el etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$); o compuestos nitrogenados, como el amoníaco (NH_3). Como combustibles más simples podemos citar el hidrógeno, el carbón o el azufre.

También deben incluirse como combustibles los metales (aluminio, magnesio, zirconio, titanio,...) y metales alcalinos (litio, sodio, potasio, rubidio y cesio)

Igualmente, hay que precisar que la combustión con llama sólo se realiza en fase gaseosa, ya que no es el propio combustible el que arde, sino los vapores que emanan de él. Por este motivo, a excepción de los gases (que ya se encuentran totalmente en fase gaseosa), el resto de combustibles debe vaporizarse antes de arder.

A la hora de determinar la **peligrosidad** de un combustible, han de barajarse dos parámetros fundamentales:

⇒ **La energía y productos emitidos en una reacción de combustión**, que vendrán determinados por parámetros como la potencia calorífica, reactividad y toxicidad de los combustibles.

⇒ **Su posible ignición**. Que dependerá de: la concentración combustible-aire precisa, la temperatura mínima a la que el combustible emite suficientes vapores para alcanzar dicha concentración y la energía a aportar a la mezcla para que se inicie el proceso y se desarrolle la reacción en cadena.

Las **características físicas de los combustibles** que permiten analizar estos factores son:

1.1 LÍMITES DE INFLAMABILIDAD. Se denominan límites de inflamabilidad o explosividad, a las concentraciones máxima y mínima de un combustible en aire, por encima y por debajo de la cual no es posible la combustión. Estas concentraciones son características para cada combustible en fase gas o vapor, así como para suspensiones de sólidos en forma pulverulenta, y vienen definidas por el **Límite Inferior de Inflamabilidad** y el **Límite Superior de Inflamabilidad**, y se expresan en tanto por cien de combustible en aire, o en gramos por metro cúbico, en el caso de polvos combustibles.

Las distintas concentraciones comprendidas entre ambos límites, representan el **Rango de Inflamabilidad** de un combustible, llamado también "Intervalo Explosivo", y todas ellas pueden entrar en ignición. Dentro del Rango de Inflamabilidad existe una concentración donde la mezcla presenta las condiciones óptimas para su total combustión, y se denomina **Límite Estequiométrico de Inflamabilidad**, llamado también **mezcla ideal**.

De los diversos factores que pueden influir sobre el rango de inflamabilidad de un determinado combustible, merecen especial atención la *temperatura y la concentración de oxígeno*, sobre todo en supuestos de incendio. El incremento de temperatura hace aumentar el rango de inflamabilidad ya que provoca el descenso del límite inferior y el aumento del límite superior. Por lo que respecta al contenido de oxígeno, su disminución reduce también el rango de inflamabilidad, por un descenso progresivo del límite superior

T.1 TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN. Llamada también "Flash-Point", se define como la mínima temperatura, en grados centígrados y en condiciones normales de presión, a la que un combustible emite vapores en tal cantidad que, al mezclarse con el aire, alcanzan el límite inferior de inflamabilidad. Por tanto, el riesgo de ignición de un combustible se encuentra en razón inversa con su temperatura de inflamación, es decir, a menor temperatura de inflamación, mayor inflamabilidad, y viceversa.

T.1.1 TEMPERATURA DE IGNICIÓN Y AUTOINFLAMACIÓN. Ambos conceptos nos indican la temperatura a la que el combustible comenzará a arder; el empleo de uno u otro término depende del modo en que se produzca. La temperatura de ignición representa la temperatura mínima que necesita alcanzar una sustancia para inflamarse, por excitación de parte de sus moléculas, debido a la presencia de llama o chispa externa. La temperatura de autoinflamación o autoignición indica la temperatura que debe alcanzar una mezcla completa de aire-combustible para que comience a arder espontáneamente, sin aporte de llama o chispa externa.

Por su parte, el **comburente** es el agente oxidante y, consecuentemente, la sustancia que permite arder al combustible. En la gran mayoría de combustiones, el comburente es el oxígeno presente en el aire que respiramos, que se encuentra en una proporción del 21%, aproximadamente. Para que se pueda producir una combustión es necesario que se alcance el denominado **índice crítico de oxígeno**. Del mismo modo, el aumento de la concentración de oxígeno en el ambiente provoca una aceleración en las

reacciones de combustión.

Además del oxígeno del aire, también existen otras sustancias con alto poder de oxidación y que, por tanto, pueden provocar la ignición de combustibles si entran en contacto con ellos, como p.e. el Ozono, Peróxidos orgánicos e inorgánicos, Halógenos (fluor y cloro), ciertos ácidos inorgánicos, nitratos, cloratos, permanganatos, hipocloritos, etc...

Como último elemento del triángulo del fuego encontramos la **energía de activación**, definida como la cantidad de energía en forma de calor que hay que suministrar a una mezcla combustible/comburente para que se produzca la reacción de combustión, denominándose foco el lugar donde se aporta dicha energía.

El tiempo de aplicación y la cantidad de energía a suministrar para se produzca la ignición depende fundamentalmente de tres factores del combustible: el calor específico, la inercia térmica y de la geometría del mismo.

El triángulo de fuego fue una representación aceptada durante mucho tiempo. Sin embargo, una observación más precisa del fenómeno del fuego hizo necesaria la inclusión de un cuarto factor, la **Reacción en Cadena**, que por estar íntimamente relacionada con todas las anteriores dio lugar al denominado tetraedro del fuego (*del que hablaré en el punto siguiente*).

3. EL TETRAEDRO DEL FUEGO. ELEMENTOS PARA LA CONTINUIDAD DEL FUEGO: REACCIÓN EN CADENA.

Si la ignición se representa mediante el "Triángulo del Fuego", el desarrollo de una combustión se hace transformando el triángulo en el "**Tetraedro del Fuego**", figura tridimensional en la que cada cara de la figura es uno de los factores citados (combustible, comburente, energía y reacción en cadena). A estos elementos se les conoce como **factores de incendio**.

La **reacción en cadena** es el proceso químico que permite que una combustión progrese en el seno de la mezcla comburente-combustible. Para que la reacción en cadena se verifique, ha de conseguirse que la reacción de combustión, endotérmica en sus primeros momentos, se convierta en exotérmica y automantenida. Para ello, el aporte energético inicial a la mezcla combustible-comburente ha de ser suficiente para que una parte del combustible se descomponga y forme una cantidad adecuada de radicales libres, de forma que la reacción química entre ellos y con el comburente libere energía para que este proceso se repita de forma sucesiva y se encadene.

Por lo tanto, la reacción en cadena está asegurada y es inherente a la mayoría de los combustibles, siempre que el aporte energético sea suficiente y exista mezcla combustible-comburente.

Al igual que dije al hablar del Triángulo, el Tetraedro representa la necesidad de los cuatros factores para que una combustión se desarrolle y progrese por sí misma, e igualmente, si uno de ellos se suprime, la combustión se detendrá. Por este motivo, existen cuatro mecanismos posibles para llegar a la extinción:

- ⇒ **ELIMINACIÓN**. Consiste en actuar sobre el combustible. Algunos ejemplos serían retirar los combustibles próximos al fuego (en el caso de combustibles sólidos y líquidos), cortar el suministro (gases y líquidos), o incluso dejar que el combustible se consuma totalmente, que en ciertos casos es la mejor opción posible.

- ⇒ **SOFOCACIÓN** / Se denomina así a las posibles actuaciones sobre el comburente, siempre encaminadas a reducir el porcentaje de oxígeno presente, o evitar el contacto entre combustible y comburente. Echar arena sobre el fuego, tapar una sartén con el aceite ardiendo, pisar un cigarrillo, son ejemplos típicos de este mecanismo, o la extinción mediante espuma, ya en el terreno profesional.
- ⇒ **ENFRIAMIENTO** / Procesos que permiten restar energía a la reacción de combustión, hasta conseguir suprimirla, generalmente empleando productos que absorben calor al cambiar de estado físico. La extinción de un fuego con agua representa el ejemplo más apropiado de extinción por enfriamiento.
- ⇒ **INHIBICIÓN QUÍMICA** / Es un mecanismo más complicado en su desarrollo, aunque más rápido que los anteriores, sólo aplicable a aquellos fuegos con llama. Consiste en arrojar ciertos productos sobre el fuego para que paralizen la reacción en cadena, como es el caso del polvo químico seco de los extintores portátiles.

4. QUÍMICA DEL FUEGO.

Una *reacción química* es un proceso por el cual una o más sustancias, llamadas *reactivos*, se transforman en otra u otras sustancias con propiedades diferentes, llamadas *productos*. Los enlaces entre los átomos que forman los reactivos se rompen, los átomos se reorganizan de otro modo, formando nuevos enlaces y dando lugar a una o más sustancias diferentes a las iniciales, denominados *productos*.

Los productos resultantes de las reacciones de combustión pueden concretarse en: **gases de combustión, llamas, calor y humo**, cuya cantidad e intensidad dependerá de varios factores, tal como se detalla a continuación.

➤ GASES DE COMBUSTIÓN

Son los principales responsables de muertes en caso de incendio. La cantidad y tipos de gases resultantes de una combustión dependerá de la composición química del combustible, la temperatura alcanzada, la concentración de oxígeno disponible y el tiempo de combustión. Los efectos de estos gases sobre las personas estarán determinados por la concentración alcanzada, el tiempo de exposición a dicha concentración, tipo de protección empleado y las condiciones físicas individuales.

Los gases de combustión se suelen clasificar en dos grandes grupos:

ASFIXIANTES / En líneas generales, un gas asfixiante es todo aquel que priva de oxígeno al organismo. En virtud de cómo lo haga, se subdividen en:

- ⇒ **Asfixiantes simples** / No actúan en el organismo; simplemente diluyen la concentración de oxígeno ambiente, como el dióxido de carbono (CO_2) o el vapor de agua.
- ⇒ **Asfixiantes químicos** / Se incorporan al flujo sanguíneo e impiden la absorción del oxígeno en las células. El ejemplo más típico lo constituye el monóxido de carbono (CO), que se une a la hemoglobina de la sangre y bloquea los puntos

transportadores del oxígeno. Otros ejemplos serían el cianuro de hidrógeno (HCN) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S), que inhiben la acción de ciertos enzimas encargados de asimilar el oxígeno en las células.

IRRITANTES: Son gases que producen irritación de las vías respiratorias, ojos y mucosas, porque, en líneas generales, se mezclan bien con el agua y forman ácidos como producto final. En bajas concentraciones producen lagrimeo continuo, escozor en garganta y tos. En mayores concentraciones pueden provocar una constricción de los alvéolos pulmonares con dificultad respiratoria, edema pulmonar e infecciones posteriores. La exposición a elevados porcentajes puede ocasionar la muerte en cortos periodos de tiempo. Algunos ejemplos serían el amoníaco (NH_3), cloruro de hidrógeno (HCl), dióxido de nitrógeno (NO_2), fosgeno ($COCl_2$), acroleína ($CH_2=CH-CHO$), dióxido de azufre (SO_2), etc.

➤ LLAMAS

Las llamas de una combustión, aunque no se dan en todas las reacciones, constituyen la manifestación evidente de que se está produciendo una reacción en cadena y, en esencia, están formadas por una masa gaseosa que debido a su elevada temperatura, adquiere una apariencia luminosa e incandescente. El color de una llama depende principalmente de dos factores; la composición del combustible y la energía que irradia, al tiempo que nos indica si la combustión se está realizando correctamente.

En esencia, pueden distinguirse dos tipos de llamas:

- ⇒ **De premezcla.** No dependen de los oxidantes del entorno, porque combustible y comburente se encuentran mezclados en proporciones idóneas antes de la ignición. Se les conoce como llamas aireadas, y se caracterizan por no emitir humos y alcanzar mayores temperaturas.
- ⇒ **Difusoras.** El oxígeno y el vapor combustible se mezclan por difusión en la zona de reacción, debido a la diferencia de densidades de los componentes gaseosos. Son las que se producen en la práctica totalidad de incendios. Dentro de este grupo se consideran dos tipos: las de difusión laminar y las de difusión turbulenta.

➤ CALOR

La transmisión de calor de una combustión resulta determinante en el inicio, desarrollo y extinción de un incendio. La energía térmica puede propagarse por tres mecanismos: **conducción** (especialmente en las sustancias sólidas), **convección** (principalmente en los líquidos y gases) y **radiación** (mediante ondas electromagnéticas). La exposición a elevadas temperaturas puede provocar diversas patologías en el organismo; desde deshidrataciones hasta hipertermias severas que pueden provocar la muerte. Otro de los efectos serían las quemaduras, cuya gravedad dependerá de la zona afectada y la profundidad. Igualmente, respirar aire a altas temperaturas puede provocar una drástica caída de la presión sanguínea y originar colapso respiratorio.

➤ HUMO

Recogido en la norma UNE EN ISO 13943 con el término de "**efluente de fuego**". Se trata de una suspensión de partículas sólidas (hollín, alquitrán, porciones de combustible no quemado) y líquidas (condensación de vapores) que se encuentran mezcladas con los gases de combustión y el aire. La mayor o menor producción de humo en una combustión depende esencialmente de dos parámetros: el tipo de combustible y la concentración de oxígeno presente (cuanto menor sea la concentración de oxígeno, mayor será la cantidad de humo). Los efectos del humo sobre las personas son, en orden decreciente, intoxicación,

asfixia, desorientación (lo que dificulta las tareas de evacuación en caso de incendio), y quemaduras (se encuentra a elevada temperatura). IA DE QUE

5. TEORÍA DE LA COMBUSTIÓN. TIPOS DE COMBUSTIONES.

En esencia, la combustión es un tipo particular de **reacción química de oxidación-reducción** (proceso "**redox**"), similar a las reacciones que se producen cuando un trozo de hierro se cubre de óxido, una fruta oscurece tras ser partida y dejarla expuesta al aire, o un papel blanco se torna de color amarillento con el paso del tiempo. Las características más destacables de estas reacciones son las siguientes:

- ⇒ Se producen siempre por un intercambio de electrones entre dos sustancias, una llamada oxidante, que en la mayoría de ocasiones es el oxígeno del aire, y otra llamada reductor, entre los que se cuentan los metales como principal exponente, elementos no metálicos, como el carbono o el azufre, o ciertas materias como la celulosa o el butano.
- ⇒ El reductor cede electrones y se oxida (en términos químicos oxidarse quiere decir perder electrones), y el oxidante los gana y se reduce, entendiéndose con ello, de una forma muy simple, que "reduce" su capacidad para seguir oxidando. Por tanto, ambos procesos, oxidación y reducción, van siempre paralelos, y no se puede concebir una oxidación sin que exista una reducción
- ⇒ Estas reacciones son exotérmicas, es decir, desprenden energía en forma de calor, aunque en muchas ocasiones no sea perceptible por nosotros.

No obstante, resulta evidente que existen apreciables diferencias entre los ejemplos de oxidación citados y la combustión de un tronco de madera, un trozo de papel o un recipiente con gasolina. La combustión es una oxidación peculiar simplemente porque se realiza con **gran rapidez**, siendo precisamente este parámetro, la elevada velocidad del proceso, lo que la caracteriza y diferencia del resto de oxidaciones, pero su desarrollo es exactamente igual a las anteriores. Cuanto más rápida se realice una reacción de oxidación, mayor será el desprendimiento energético, hasta el punto que, en la combustión, la energía liberada puede percibirse en forma de calor irradiado e, incluso visualmente (llamas y/o brasas). Igualmente, toda combustión va acompañada también de una serie de productos en forma gaseosa, resultado de la reacción, que dependerán de la naturaleza de los reactivos.

Aunque los procesos de combustión son complejos de describir con detalle, en cuanto a su desarrollo químico, se refiere, de forma genérica pueden diferenciarse dos tipos:

- ①
 - Combustión de materias que necesitan descomponerse por **pirólisis** antes de comenzar a arder. La pirólisis es la descomposición química de una sustancia por efecto del calor.
 - Combustión de materias que **no necesitan pirolizarse** para arder, como es el caso de los líquidos y gases inflamables.

Atendiendo al modo de manifestarse, las combustiones pueden ser:

- ②
 - **Incandescentes** o sin llama, llamadas también combustiones en fase condensada, es exclusiva de combustibles sólidos, en incluye las combustiones en forma de brasas, bien superficiales o profundas.

○ **Luminiscentes.** Transcurren en fase gaseosa, con presencia de llamas como manifestación visible del proceso.

En base a la velocidad de propagación, que puede definirse como la velocidad con que avanza el frente de reacción, las combustiones pueden clasificarse:

○ **Lentas.** Las combustiones de tipo incandescente son el ejemplo más típico, presentando en algunos casos, velocidades del orden de milímetros a la hora. *mm/h*

○ **Vivas o simples.** La velocidad de reacción es inferior al metro por segundo. El proceso transcurre con llama, siendo apreciable el avance del frente de reacción. Las reacciones de los incendios normales son de este tipo. *↓ 1m/s*

○ **Deflagrantes.** Es un proceso exotérmico, en el cual el frente de reacción avanza a través de los materiales a reaccionar a una velocidad comprendida entre 1 m/s y la velocidad del sonido en el medio, si bien, normalmente, las deflagraciones abiertas no superan los 10 m/s. La rapidez con que se desarrolla el proceso *340m/s* provoca la aparición de ondas de presión que viajan por delante del frente de reacción, de forma paralela y generando unos efectos sonoros característicos.

○ **Detonantes.** Su velocidad de reacción siempre es superior a la velocidad del sonido, oscilando normalmente entre los 2.000 y 8.000 m/s. La detonación se caracteriza por la altísima velocidad de reacción y la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva. Esto origina una onda de choque u onda explosiva, que generalmente acompaña al frente de reacción, que aporta la energía necesaria para mantener el proceso.

También podemos hablar de combustiones completas e incompletas en función del consumo del agente reductor. *(con combustible)*

6. CLASIFICACIÓN DE LOS FUEGOS SEGÚN NORMA UNE.

La norma UNE EN-2:1994/A1 establece cuatro clases de fuegos en base a su naturaleza como combustible, identificados mediante cuatro letras, a fin de simplificar el lenguaje o escritura concerniente a los mismos. La definición de las clases de fuegos es la siguiente:

- ⇒ **Fuegos de clase A.** Llamados fuegos secos, comprende los fuegos de materias sólidas, generalmente de naturaleza orgánica y con alto punto de fusión, tales como madera, tejidos, papel, etc. Su combustión se realiza normalmente con formación de brasas.
- ⇒ **Fuegos de clase B.** Fuegos llamados grasos. Son los fuegos de líquidos combustibles e inflamables y de sólidos de bajo punto de fusión que, por efecto del calor funden, comportándose entonces como líquidos, no dejando residuos o brasas.
- ⇒ **Fuegos de clase C.** Fuegos de gases. Se incluyen en esta clase los fuegos de aquellas sustancias que, en condiciones normales de presión y temperatura, se presentan en forma gaseosa.
- ⇒ **Fuegos de clase D.** Llamados especiales o metálicos, incluye los fuegos de metales, especialmente los de alto poder de reacción y aleaciones de los

mismos.

Aunque es de uso muy común hablar de una **clase E** para referirse a los fuegos eléctricos o de equipos bajo tensión, en la norma UNE no aparece recogida. La anterior clasificación se basa en las características de los distintos combustibles, y la electricidad, como tal, no es un combustible. No obstante, es preciso señalar que sí se menciona en la UNE EN ISO 13943:2012, indicando que esta clasificación existe en Europa y Australasia.

En noviembre del año 2005 se publica en España una modificación de la norma UNE EN-2 de 1994, en la que se incluye una nueva clase de fuego, denominada **Clase F**, que son los fuegos derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en los aparatos de cocina".

