

# Química del fuego

## ¿QUE ES EL FUEGO?

Podemos definir al fuego como un proceso de combustión caracterizado por una reacción química de oxidación (desde el punto de vista del combustible) de suficiente intensidad para emitir luz y calor y en muchos casos, llama. Esta reacción se produce a temperatura elevada y evolución de suficiente calor como para mantener la mínima temperatura necesaria para que la combustión continúe. Los valores que alcanza la temperatura de combustión dependen en gran parte de la naturaleza de los combustibles utilizados, pudiendo variar desde los 1.039 °C para algunos alcoholes hasta más de 1.700 °C para algunos metales que entran en combustión, como ser el Magnesio, Aluminio, etc.

## FACTORES QUE INTERVIENEN

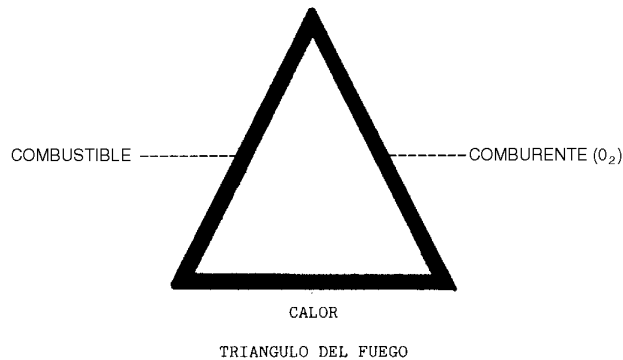
Los factores intervinientes son cuatro: Combustible, Comburente (O<sub>2</sub>), Calor y Reacción Química.

- Combustible: (agente reductor), es un material que puede ser oxidado, por lo tanto en la terminología química es un agente reductor. Como combustibles podemos nombrar el carbón, celulosa, madera, ceras, caucho, nafta, gas oil, metano, hidrógeno, propano, uranio, titanio, zinc, etc. Los combustibles pueden estar en cualquier estado de agregación (sólido, líquido, gaseoso), pero debemos aclarar que lo que arde con llama son los gases de combustión por estos despedidos. Las sustancias normalmente en estado sólido mantienen una combustión de masa, elevándose la temperatura de la misma en toda la superficie a medida que el fuego se extiende hacia el núcleo. En los combustibles líquidos, el intenso calor radiante genera vapores en cantidades crecientes lo que alimenta el fuego (llamas), los gases arden en toda su masa produciendo gran parte de ellos, serios riesgos de explosión.
- Comburente: (agente oxidante), es un agente que puede oxidar a un combustible y al hacerlo esto se reduce a sí mismo. En este proceso el agente oxidante obtiene electrones tomándolos del combustible, por ejemplo: oxígeno y ozono (tomados del aire), halógenos, ácidos (nitríco y sulfúrico) óxidos de metales pesados, nitratos, cloratos, percloratos, peróxidos, cromatos, dicromatos, etc. Desde el punto de vista del incendio el oxígeno del aire es el comburente principal, pues en casi exclusivamente todos los siniestros, el aire es el agente que alimenta el fuego. A pesar de que el oxígeno juega un papel muy importante en el desarrollo de un incendio, cabe destacar ciertos elementos como el calcio y el aluminio que pueden quemar en una atmósfera de nitrógeno que ordinariamente es inerte.
- Temperatura de ignición: esta propiedad es la mínima temperatura a que una sustancia (sólida o líquida) debe ser calentada para iniciar una combustión que se sostenga por sí misma independiente de las fuentes externas de calor.
- Reacción en cadena o química: la eliminación del este cuarto factor significa intervenir un proceso químico y por consiguiente habrá una extinción química, aunque además pueda estar presente una extinción física. Esta reacción está compuesta por una variedad de fragmentos moleculares como los radicales libres, hidrógeno libre, carbón libre, conocidos como especies activas.

## TRIANGULO DEL FUEGO

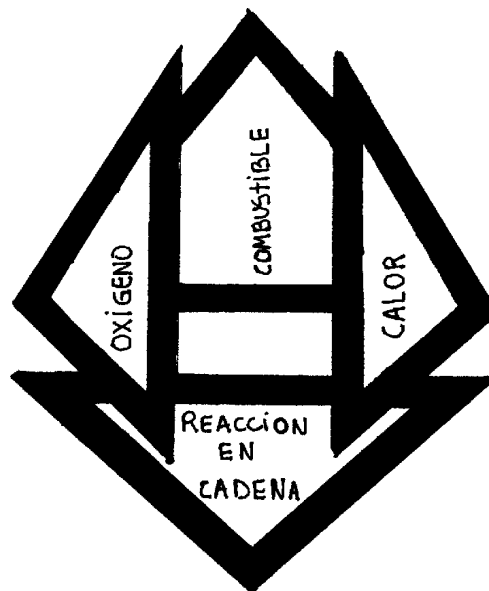
Así como existen diferentes modelos para explicar fenómenos físicos, existe un modelo geométrico: "el triángulo del fuego", propuesto fundamentalmente para explicar los mecanismos de acción sobre el fuego de los distintos elementos extintores. Entonces el fuego se representa con un triángulo en que cada lado figura un Factor.

El fuego se extingue si se destruye el triángulo, eliminándolo o acortando alguno de sus lados. El calor puede ser eliminado por enfriamiento, el oxígeno por exclusión del aire y el combustible líquido por su remoción o bien evitando su evaporación.



## TETRAEDRO DEL FUEGO

Las investigaciones realizadas durante los últimos 25-30 años han descubierto que detrás del frente de llama existe una serie de especies activas (ver reacción química) que son las responsables de las reacciones químicas que se producen en dicho frente. Por consiguiente la nueva representación es agregar al triángulo una cuarta cara que será la Reacción química o en cadena, formándose el tetraedro.

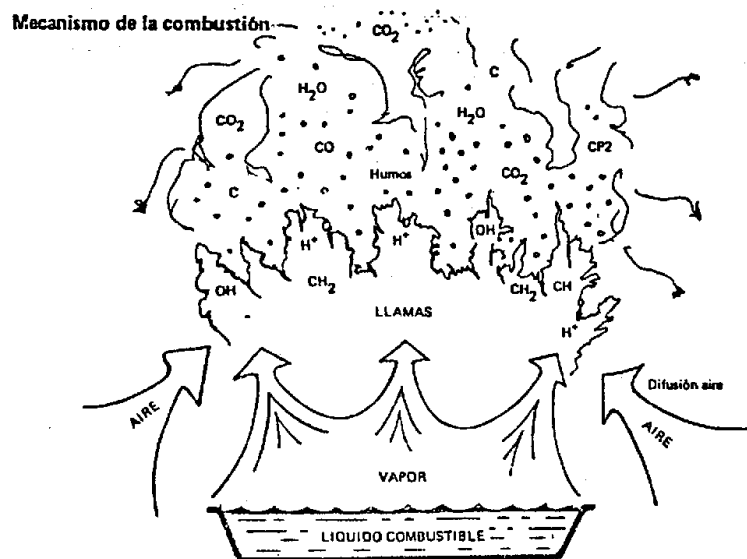


## CARACTERISTICAS QUE PRESENTAN LOS SOLIDOS AL QUEMARSE

La principal característica es que todos ellos dejan residuos sólidos al quemarse (ceniza) de alto contenido de carbono. Los metales al quemarse dejan un óxido de metal, pues durante la combustión ha perdido todo el carbono que contenía. Las sustancias que normalmente se encuentran en estado sólido mantienen una combustión de masa, elevándose la temperatura de la misma en toda la superficie a medida que el fuego se extiende hacia el núcleo. La técnica principal de extinción es la de refrigerar la masa incandescente.

## COMO SE QUEMAN LOS LIQUIDOS

El esquema muestra la forma en que se desencadena el mecanismo de la combustión de un líquido inflamable que forma una llama difusa, pero tiene la misma validez para combustibles sólidos en la que los vapores son destilados de ellos. Al encender la batea que contiene hidrocarburo, el vapor que se encuentra en equilibrio con el líquido, es rápidamente consumido en la zona de las llamas, siendo reemplazado por la generación creciente de nuevas cantidades de vapor combustible. El intenso calor radiante negro proviene de las llamas acelera el proceso de producción de vapor y por ende de la combustión. Dicho calor, además de acelerar la producción de vapor, genera una variedad de fragmentos moleculares de menor peso molecular, radicales libres, hidrógeno libre, carbón libre, etc., conocidas como "especies activas". Estas especies activas reaccionan en la zona de quemado (llamas) produciendo una serie de reacciones en cadena. Los distintos vapores empiezan a arder en sus límites superior de inflamabilidad cuando sólo ha penetrado por difusión la cantidad de aire necesaria a través de la zona de llama. A medida que estos vapores atraviesan la zona de llama encuentran más aire que difunde con mayor facilidad y por consiguiente continúan ardiendo hasta alcanzar su límite inferior de inflamabilidad en los bordes exteriores de la zona de llama, lugar donde existe la máxima cantidad tolerable de aire para condiciones de combustión. Las moléculas más fáciles de oxidar queman primero y a medida que se prolonga la combustión se oxidan las demás restantes. El proceso es tal que una serie de etapas sucesivas las uniones C-H del hidrocarburo son reemplazadas por uniones H-O y C-O las que continúan hasta la combustión final en una serie de reacciones conocidas como Hidroxidación. En dichas reacciones el hidróxido es tanto formado como consumido, siendo los responsables de la ramificación de la cadena. El carbón sigue sólo una combustión superficial, sin llama y con una energía cinética de reacción muy lenta pasando gran parte de la zona de llama como negra de humo.



## CARACTERISTICAS DE LA COMBUSTION DE GASES

Los gases son fluidos aeriformes y las características de su combustión está sujeta a las mismas condiciones que los vapores de los líquidos inflamables. Los gases sólo entran en com-

bustión cuando se hallan dentro de ciertos límites de composición de la mezcla aire-gas. Estos siempre arden con llama y en caso de que su concentración con oxígeno o aire supere el límite inferior de inflamabilidad (específico para cada gas) éste se encenderá o explotará, dependiendo esto último de la presión de la mezcla y del tamaño del recinto donde se halle contenida la mezcla. El tipo de combustión que produce es completa, dejando residuos como el dióxido de carbono más agua y además producen prácticamente nada de humo. Arden en toda su masa.

## **COMO INTERVIENE EL OXIGENO EN UNA COMBUSTION**

El oxígeno del aire interviene como el principal comburente, pues es casi exclusivamente en todos los sectores, el oxígeno el que alimenta al fuego. Este comburente interviene en la combustión oxidando a un combustible en cualquier estado de agregación que se encuentre, este proceso lo realiza tomando electrones del combustible (agente reductor) que reduce al oxidante ( $O_2$ ) a través de la entrega de electrones. Al realizarse una combustión, si ésta se produce con desprendimiento de luz y calor es debido a que nos hallamos ante la presencia del oxígeno que oxida al combustible, quien se reducirá para lograr esa combustión.

## **DIFERENCIA ENTRE OXIGENO AIRE Y OZONO**

La composición del aire puro en volumen es de 78,055 % de  $N_2$ , 20,939 % de  $O_2$  y 0,933 % de Argón y 0,031 % de Dióxido de Carbono. Si nos encontramos ante una combustión en presencia de aire, las sustancias tomarán el oxígeno solamente para combustionar, actuando los demás componentes como diluyentes en especial el nitrógeno, que absorbe parte del calor desprendido de la combustión. Si tomamos ahora el oxígeno puro obtenido en laboratorio, las sustancias que arden en él lo hacen con gran brillo, lo que indica que la combustión es mucho más violenta ante su presencia. Esto se debe a que estamos delante de un oxidante complejo. EN 1785 Van Marun observó que el aire próximo a una máquina eléctrica en funcionamiento, adquiere un olor "eléctrico" y empaña el mercurio. En 1840 probó Schonbein que el olor se debe a un gas peculiar, al que se le llamó Ozono (del griego ozo, huelo) producido también por la oxidación lenta del fósforo. Se encuentran indicios de ozono en el aire, hay pruebas espectroscópicas de la existencia de ozono en la capa más alta de la atmósfera donde se forma por los rayos ultravioletas sobre el oxígeno. Si está presente en el aire en cantidades mayores de un volumen en 20.000, el ozono es penetrante y peligroso. El ozono no debe estar en contacto con materias orgánicas puesto que puede explotar. Es además un poderoso oxidante. La cantidad necesaria para percibir el olor a ozono es de 2ppm.

## **DEFINICIONES**

**REACCION:** Acción recíproca entre dos o más elementos por la cual se forma otra u otras sustancias distintas a las primitivas.

Químicamente es un proceso que convierte unas sustancias en otras mediante redistribución de sus átomos. Cuando arde un combustible, éste y el oxígeno del aire son los reaccionantes y el dióxido de carbono y el agua son los productos finales de la reacción. Tomamos este ejemplo como ideal de una combustión completa.

**OXIDACION O REACCIONES DE OXIDACION:** Las reacciones de oxidación que se producen en el fuego son exotérmicas, es decir uno de los productos de reacción es el calor. Para que una reacción de oxidación tenga lugar, un material combustible y un agente oxidante deben estar presentes. Puede decirse que todo compuesto que consista principalmente en carbono e hidrógeno puede ser oxidado. Los materiales orgánicos sólidos, líquidos y gaseosos contienen gran porcentaje de carbono e hidrógeno. El más común agente oxidante es el oxígeno del aire.

**IGNICION:** Acción y efecto de estar un cuerpo encendido cuando es combustible, es decir

se enciende y luego sigue en combustión independientemente de la causa que originó la ignición. Ej.: cuando encendemos un mechero de gas en el laboratorio. Se sigue quemando solo, aun cuando retiremos el fósforo o elemento que usamos para su encendido.

**COMBUSTION:** Acción y efecto de arder o quemar. Combinación de un combustible y un comburente con difundimiento de calor y luz.

**CALOR:** Manifestación física capaz de elevar la temperatura de los cuerpos, dilatar los metales y que llega a fundir sólidos, evaporar a los líquidos, transmitiéndose de unos a otros. Según las modernas teorías físicas es una energía que se produce por una serie de vibraciones de la materia, superiores en número a la del sonido e inferiores a las de la luz.

**TEMPERATURA:** Manifestación del grado mayor o menor de calor que tienen los cuerpos. Físicamente la temperatura de un sistema mide el vigor del movimiento de todos los átomos y moléculas del mismo. Es una medida de energía del movimiento de los átomos y moléculas.

La temperatura de un cuerpo es una medida de su estado relativo de calor o frío. Para la medida de la temperatura tenemos que hacer uso de alguna propiedad física medible, que nos manifieste la variedad de aquella.

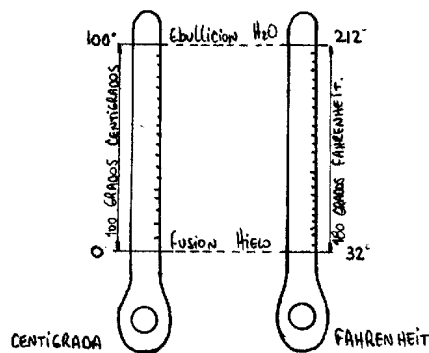
Cualquier instrumento utilizado para medir la temperatura se denomina Termómetro.

Se utilizan varios sistemas. La variación de la longitud de una barra, la variación del volumen de un líquido, la resistencia o variación de calor de un filamento metálico.

**EL MAS CORRIENTE:** La variación de volumen de un líquido encerrado en un recipiente. Son los termómetros de alcohol o mercurio (metal que se encuentra fundido a temperatura ambiente).

**ESCALAS TERMOMETRICAS:** Se utilizan prácticamente dos escalas. La Centígrada y la Fahrenheit. Para definir la escala se eligen dos temperaturas llamadas puntos fijos. Asegurando los valores arbitrarios a cada uno de ellos Uno de los puntos de referencia, el inferior es el punto de fusión del hielo; el otro el superior, es el punto de ebullición del agua a la presión de una atmósfera.

### RELACION ENTRE LAS ESCALAS CENTIGRADAS Y FAHRENHEIT



100 grados centígrados equivalen a 212 grados Fahrenheit.

Tabla de conversión de una temperatura a otra.

$$t^{\circ}F = \frac{9}{5} t^{\circ}C + 32$$

$$t^{\circ}C = \frac{5}{9} (t^{\circ}F - 32)$$

**ENERGIA:** Físicamente se la define como causa capaz de convertirse en trabajo. Esa definición no alcanza a hacer comprender totalmente el concepto de Energía.

Las propiedades físicas y químicas de una sustancia están dadas por el tipo, número y relación de las unidades energéticas de los átomos de la sustancia. Por ello se considera que la materia o sustancia está compuesta enteramente por Energía. Ya sea absorción o liberación  $E = m \times C^2$

CALENTAMIENTO: Comunicar calor a un cuerpo de modo que aumente su temperatura.

## RELACIONES ENTRE LO DEFINIDO Y EL PROCESO DE COMBUSTION

La combustión puede describirse como la oxidación rápidamente efectuada por acción del oxígeno sobre un elemento o sustancia, con desprendimiento de calor y luz. Se trata simplemente de una Reacción con liberación de Energía, que se manifiesta a partir de la Ignición del combustible y con desprendimiento de calor, por tratarse de una Reacción Exotérmica, con calentamiento y aumento de temperatura.

## LA UNIDAD DE CALOR ES LA CALORIA. CALORIA/GRAMO

Es la cantidad de calor requerido para elevar en un grado centígrado la cantidad de un gramo de agua (tomado entre 14,5 ° C y 15,5 ° C). La unidad térmica butánica BTU, es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado Fahrenheit, la cantidad de una libra de agua (medida a 60° F) | B T U= 252 CALORIAS.

Supongamos dos recipientes, uno de los cuales contiene una pequeña y el otro una gran cantidad de agua. Si lo colocamos sobre mecheros de gas idénticos y los calentamos durante el mismo tiempo, es evidente que la temperatura de la pequeña cantidad de agua se habrá elevado más que la de la grande. Calor es una medida de cantidad y temperatura, una medida de intensidad.

**CALOR ESPECIFICO:** De una sustancia es el número de calorías necesarias para elevar en un 1° C de la temperatura de 1 gr. de sustancia. Si tomamos en B T U es el número o cantidad de B T U para elevar en 1° F una libra de sustancia. El calor específico es un dato importante a tomar en cuenta en la protección contra incendios. Nos indica la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura a un punto peligroso o conocer la cantidad de calor necesario que debe ser eliminada para enfriar una sustancia a una temperatura fuera de peligro. Una de las causas que el agua sea un buen extintor, es que su calor específico es mayor que el de las demás sustancias

**CALOR LATENTE:** Cuando una sustancia pasa de sólida a líquida absorbe calor lo mismo cuando pasa de líquido a gas. En el pasaje inverso el calor absorbido se desprende. El calor latente es la cantidad de calor absorbida o liberada por una sustancia en el pasaje de sólido, líquido, gas. Se miden en calorías o B T U. El alto calor de evaporación del agua es otra razón para su efectividad como agente extintor. 1 Kg. de agua absorbe 539 Kg. para su evaporación. Los calores latentes de las sustancias más comunes son substancialmente menores que el del agua.

**CALOR TRANSFERIDO:** La transferencia de calor es responsable del comienzo y extinción de la mayoría de los incendios. El calor es transferido de tres maneras diferentes: 1° conducción; 2° radiación; 3° convección.

**CONDUCCION:** Por conducción, el calor de un cuerpo es transferido a otro por contacto directo o a través de la intervención de un sólido, líquido o gas como medio de conducción del calor como por ejemplo una cuchara de té conduce el calor a la mano. La cantidad de calor transferido depende de la conductividad térmica de los materiales a través de los cuales el calor está pasando y el área y grosor del camino de conducción.

La velocidad de transferencia del calor a través de cualquier material está en relación directa con la diferencia de temperatura entre los puntos de entrada y salida. No hay transferencia por conducción a través del vacío perfecto. Los sólidos son mejores conductores del calor que los gases, de manera que los mejores aisladores comerciales consisten en pequeñas partículas o fibras de sustancias sólidas entre ellas llenos de aire. La transmisión del calor no puede ser completamente detenida por ningún material aislador de calor.

El flujo de calor no es como el flujo de agua que pueda ser detenido por una barrera sólida.

Los materiales aisladores de calor tienen baja conductividad de calor; el calor fluye a través de ellos lentamente pero ninguna cantidad de material aislador puede detener completamente el calor. Este hecho debe ser recordado al planear la protección contra el fuego en cocinas, chimeneas y otras fuentes de calor que podrían encender objetos combustibles cercanos.

El llenar el espacio entre el origen del calor y el combustible con aislador puede no ser suficiente para prever la ignición, sin interesar la cantidad de aislador intermedio. Si la velocidad de conducción a través del aislador es más grande que la velocidad de disipación del calor en el material combustible, la temperatura de éste último puede aumentar hasta el punto de ignición. Si el calor continúa por un tipo suficiente fluyendo a través del aislador y no escapa por ningún lado aumentará considerablemente la temperatura pudiendo producir un incendio al provocarse el encendido del material combustible.

Por esta razón siempre deberá haber un espacio o alguna manera de eliminar el calor no dejando todo ese trabajo confiado al aislador.

Han ocurrido incendios por la transmisión del calor a través de paredes de cemento durante períodos relativamente extensos de tiempo.

**RADIACION:** Por radiación, el calor se transfiere a otro cuerpo en forma de rayos calóricos a través del espacio intermedio, de manera semejante a los rayos luminosos. Así llega a nosotros el calor del sol. Las radiaciones calóricas pueden pasar libremente a través del vacío y aún de algunos gases de molécula simétrica como el hidrógeno, oxígeno y nitrógeno principalmente; como el aire contiene estos tres gases, principalmente los dos últimos, no absorbe calor, a menos que contenga vapor de agua, anhídrido carbónico, monóxido de carbono, anhídrido sulfuroso, hidrocarburos u otros contaminantes. En general, excepto en atmósferas cerradas el total de radiaciones absorbidas es insignificante.

Como la luz, los rayos calóricos se desplazan a través del espacio en línea recta, hasta que encuentran en su camino un objeto opaco, donde son absorbidos prosiguiendo su efecto por conducción. Como la luz, son reflejados por las superficies brillantes y pasan a través del vidrio.

Las radiaciones calóricas pueden tener dos procesos de propagación: las de un horno se transmiten a la pared, y la pared, a su turno cuando su calor sea mayor que el de los objetos circundantes se la transmitirá a ellos.

Los rayos de una fuente calórica se expanden en todas direcciones. El objeto más alejado de la fuente calórica será el que menos calor recibirá.

El calor de un objeto expuesto a una radiación depende de la temperatura absorbida de la fuente expuesta a una radiación y la temperatura absorbida de la fuente puntual de radiación y la temperatura absoluta del cuerpo, variando inversamente el calor absorbido en relación con el cuadrado de la distancia que separa la fuente del objeto.

Cuando el área de radiación es muy grande en relación con la distancia, como ser el de un edificio en llamas próximo a otro separado por un pasaje, pequeñas variaciones en la distancia no influyen en el resultado.

Otros factores que afectan la transferencia de calor por radiación son el color, composición y característica de la superficie del objeto. Superficies opacas y oscuras irradian o absorben el calor más rápidamente que las lisas y brillantes.

La radiación calórica se halla en el rojo o infrarrojo del espectro de la escala del espectro luminoso y es generalmente similar a la luz solar, difieren de algo en sus propiedades de absorción y refracción a causa de su mayor longitud de onda. Como el calor es detenido por cualquier campo opaco, una hoja delgada de metal o papel constituirá temporariamente una protección contra el calor pero ordinariamente el vidrio no lo detiene. El agua tiene casi las mismas propiedades absorbivas que el vidrio, de manera que, si una capa delgada de agua sobre un vidrio tiene aproximadamente el grosor de éste, el monto de calor absorbido será el doble. En todo caso, no

detendrá el rayo calórico.

La absorción neta de calor depende de la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el objeto expuesto y la velocidad de incremento de temperatura del objeto expuesto se hace progresivamente más lenta a medida que se van aproximando ambas temperaturas a un mismo nivel.

**CONVECCION:** El calor es transferido por un medio circulante, ya sea un gas o un líquido. Así, el calor generado en un horno calienta el aire por conducción; la circulación del aire calentado a través de la habitación hacia los objetos distantes es calor transferido por convección; el calor a los objetos se transfiere por conducción. El aire caliente se expande y eleva y es por ello que el calentamiento por convección ocurre generalmente hacia arriba, a menos que las corrientes de aire lo lleven en otras direcciones (igual se transmite calor).

Cuando todas las condiciones son conocidas, se pueden hacer cálculos cuantitativos del calor transmitido por conducción, radiación y convección, pero en los incendios hay tantos factores desconocidos, que estos cálculos son imposibles.

**FUENTES DE ENERGIA CALORICA:** Como la prevención y extinción de incendios depende del control de la energía calórica, es importante estar familiarizado con los más comunes medios por los cuales puede producirse.

**ENERGIA QUIMICA CALORICA:** Las reacciones de oxidación siempre producen calor y son las fuentes más importantes en cuanto concierne a la protección contra incendios.

**CALOR DE COMBUSTION:** Calor de combustión de una sustancia es la cantidad de calor que pierde durante su combustión completa. El calor de combustión, generalmente referido a la capacidad calorífica de los combustibles, depende de la clase, número y disposición de los átomos la molécula. Es comúnmente expresado en BTU/lb. o g. cal/g. En el caso de los combustibles gaseosos, las capacidades caloríficas están dadas en cal/cm<sup>3</sup>. La capacidad calorífica no de la intensidad del fuego pues ésta depende de la velocidad con que el combustible arde.

Es importante en la protección contra el fuego saber que el calor se puede producir en oxidaciones parciales, lo cual ocurre en casi todos los incendios accidentales. Para casi todos los compuestos de Carbono e Hidrógeno o Carbono, Hidrógeno y Oxígeno (que incluyen sustancias vegetales, petróleo y derivados), el calor de oxidación, ya sea completo o parcial, depende del oxígeno consumido. Para ésta clase de sustancias comunes, como ser, madera, algodón, azúcar, aceites, ya sean vegetales o minerales, el calor de oxidación es de alrededor de 5.339 cal. por litro de oxígeno consumido, sin considerar el calor producido por la combustión completa de la sustancia. Por ello, el calor producido ya sea en un incendio o una oxidación espontánea, es limitado en cada caso por el oxígeno suministrado. Sin tener en cuenta la naturaleza del combustible, su disposición o estado de oxidación, la intensidad del fuego es siempre controlada por la velocidad del aire suministrado, es decir, por la velocidad con que llega el oxígeno al lugar de la oxidación.

**CALENTAMIENTO ESPONTANEO:** Es el proceso de incremento de la temperatura de un objeto sin tomar calor de los objetos circundantes. El calentamiento espontáneo de un material hasta su temperatura de ignición termina en la ignición o combustión espontánea del material. Las causas fundamentales de que esto ocurra son muy pocas pero las condiciones bajo las cuales estos factores fundamentales pueden actuar son muchas y variadas pudiendo provocar situaciones peligrosas.

Prácticamente todas las sustancias orgánicas capaces de combinarse con el oxígeno se oxidarán a una temperatura crítica con desarrollo de calor. La velocidad de oxidación a temperatura normal es generalmente muy lenta y el calor que se forma es rápidamente transferido, con el resultado que el material que se está oxidando no aumenta su temperatura. No es igual para todos los combustibles pues hay reacciones que se producen a temperatura normal.

Por ejemplo: la oxidación del polvo de circonio en aire genera calor más rápidamente que



el que puede ser disipado, con resultado de una ignición espontánea.

Para permitir la oxidación debe suministrarse suficiente aire, pero no tanto como para que el calor sea disipado por convección tan rápidamente como se forme. Un trapo aceitado que podría calentarse espontáneamente en el fondo de un canasto de basura no lo hará en la cuerda de la ropa donde el aire disiparía rápidamente el calor generado espontáneamente.

Las sustancias sujetas a la oxidación darán en presencia del aire productos de oxidación parcial que actuarán luego como catalizador para la oxidación total.

Por ejemplo: el aceite de oliva que ha sido expuesto al aire y se ha vuelto rancio se oxidará a más velocidad que el aceite fresco y puro no expuesto. El calor adicional puede iniciar un calentamiento espontáneo en algunos combustibles que no sufren este fenómeno a temperaturas ordinarias. En estas instancias el pre-calentamiento incrementa la velocidad de oxidación lo suficiente, de manera que el calor producido no es lo suficientemente rápido en cuanto a su eliminación. El calentamiento espontáneo de la goma-espuma después de ser precalentada en un desecador ha sido la causa de muchos incendios, en la realidad el precalentamiento no es debido a un desecador sino a que el objeto de goma-espuma puede estar ubicado junto a una fuente de calor.

La ropa de algodón, considerada fuera de peligro a temperaturas normales, aún en condiciones favorables de oxidación, expuesta a la luz y la humedad, en presencia de un catalizador, como la lana de acero, se puede oxidar a una velocidad peligrosa cuando es precalentada 200 grados sobre lo normal.

Una causa común de calentamiento de los granos es causada por la oxidación provocada por una bacteria. Como la mayoría de las bacterias no pueden vivir a temperaturas muy por sobre los 70 a 78 °C, se deduce que el calentamiento de los productos de agricultura a su temperatura de ignición se debe (o puede deberse) a la oxidación iniciada por el precalentamiento provocado por las bacterias.

La humedad contenida por los productos de agricultura tiene una influencia definida sobre los riesgos de un calentamiento espontáneo. La avena húmeda o mal curada produce el calor en los galpones donde se almacena. La experiencia ha indicado que este calentamiento puede producir la ignición en un período de dos a seis semanas, después de haber sido almacenada. La alfalfa que ha sido expuesta a la lluvia y luego almacenada en depósitos o parvas es muy susceptible de calentarse espontáneamente. Las semillas almacenadas en depósitos o silos originan lo que se conoce como "fuego de los silos" donde los granos próximos a la pared del silo son comprimidos debiéndose a ello la condensación de la humedad en la parte interna del depósito originando el auto-calentamiento de los granos. Otros productos susceptibles de un calentamiento espontáneo son los que contienen un gran porcentaje de aceites oxidables como semillas de maíz, de lino y de arroz.

**CALOR DE DESCOMPOSICION:** Calor de descomposición es el calor liberado por descomposición de un compuesto endotérmico. Por ejemplo: los compuestos que requieren una determinada cantidad de calor para formarse, calor que luego se liberará en la descomposición. Como la mayoría de los compuestos químicos se producen por reacciones exotérmicas, el calor de descomposición no es generalmente observable. Los compuestos exotérmicos son frecuentemente inestables. Cuando la descomposición es llevada a cabo por calentamiento por sobre la temperatura crítica, la descomposición continúa con liberación de calor. El nitrato de celulosa es bien conocido por su tendencia a descomponerse con liberación de cantidades peligrosas de calor.

La acción química responsable de los efectos de muchos explosivos comerciales y militares es la descomposición rápida de compuestos endotérmicos.

**CALOR DE SOLUCION:** Calor de solución es el calor absorbido o perdido cuando una sustancia es disuelta en un líquido. A pesar que la mayoría de los compuestos pierden calor cuando son disueltos algunos sólidos y líquidos y todos los gases el calor de una solución. La cantidad de calor, generalmente, no es suficiente para lograr un efecto en la protección contra el fue-

go. En el caso de algunas sustancias químicas, tales como el ácido sulfúrico concentrado, la cantidad de calor de solución hace que sea peligrosa su disolución en agua. Las sustancias que reaccionan así con el agua no son combustibles pero el calor liberado puede ser suficiente para encender un objeto cercano.

**CALOR DE ENERGIA ELECTRICA:** El calor de energía eléctrica se produce cuando la corriente fluye a través de un conductor o cuando salta una chispa entre dos electrodos.

**CALOR DE RESISTENCIA:** Siempre que la corriente fluye a través de un conductor una parte de la energía aparece como calor debiéndose esto a la resistencia del conductor determinada por su estructura atómica. La velocidad con que se genera el calor es proporcional a la resistencia y el cuadrado de la corriente. Como la temperatura de un conductor resulta de la velocidad con que el calor se disipa, un cable pelado conducirá más electricidad que un cable corriente aislado sin calentamientos peligrosos y un cable solo puede llevar más corriente que un grupo de cables estrechamente unidos.

El calor generado por lámparas incandescentes o infrarrojas se debe a la resistencia de los filamentos en dichas lámparas. En las lámparas incandescentes o las de filamentos de temperaturas de color blanco, se usa para los filamentos material de muy alto punto de fusión y la destrucción de los filamentos por oxidación se evita mediante el uso de bulbos en los cuales se ha hecho el vacío (se evita así la presencia de oxígeno). Los filamentos de lámparas infrarrojas operan a más baja temperatura (calor rojo) y los reflectores a lámparas infrarrojas son dorados porque el oro (dorado) es el mejor reflector de los rayos infrarrojos.

**CALOR DE INDUCCION:** Cuando un conductor está sujeto a un campo magnético fluctuante o alternado o cuando un conductor actúa a lo largo de las líneas de fuerza de un campo magnético, aparecen diferencias de potenciales en el conductor, que resultan en el fluir de la corriente como calor de resistencia en el conductor. Para potenciales que cambian rápidamente o potenciales alternados, la energía adicional gastada aparece como calor debido a la distorsión mecánica y eléctrica de las moléculas de su estructura y a los cambios de polaridad. Este último tipo de calentamiento aumenta con el aumento de la frecuencia de alternación.

Una forma conveniente de calentamiento por inducción es la obtenida por el pasaje de una corriente alterna de alta frecuencia a través de un cable de espiral arrollado alrededor del objeto que se desee calentar.

La corriente alterna que pasa a través de un cable puede conducir, por inducción corriente a otro paralelo. Si el cable en el cual la corriente es inducida no tiene una capacidad de traslado de corriente adecuada, la corriente inducida originará en él un determinado calor de resistencia. En este ejemplo, el calentamiento es debido principalmente a la resistencia del fluir y sólo en un pequeño grado a la fricción molecular.

**CALENTAMIENTO DIELECTRICO:** Como todos los aisladores no lo son en forma perfecta, siempre hay un flujo de corriente cuando los aisladores están sujetos a un voltaje substancial. Este fluir se conoce como corriente de escape y es generalmente poco importante desde el punto de vista de la generación de calor. A veces si el material es deficiente, la corriente de escape puede sobrepasar los límites apropiados resultando así el calentamiento del aislador con el consecuente deterioro del material y su posterior inutilización. El calor provocado por la distorsión molecular no es de importancia en las corrientes inducidas, pero puede ser importante en la corriente alterna, especialmente si es de alta frecuencia. Si un material no conductor es colocado entre los discos de un condensador, el material se calentará con el pasaje de corriente a su través.

**CALOR DE ARCO:** Cuando un circuito eléctrico es interrumpido, se produce un arco voltaico. La temperatura en los arcos es muy grande y el calor liberado puede ser suficiente para encender combustibles o materiales inflamables vecinos. En algunos casos el arco puede fundir el conductor, se requiere de un circuito eléctrico, como margen de seguridad, que si se produce un arco debido a una interrupción accidental, no liberará tanta energía como para encender la atmósfera en la cual el circuito está ubicado.

**CALENTAMIENTO ELECTRO-ESTATICO:** La electricidad estática (llamada a veces electricidad de fricción) es una carga eléctrica que se acumula en las superficies de los materiales que han estado juntos y luego se han separado. Una superficie se carga positivamente y la otra negativamente. Si las sustancias no están unidas, pueden, eventualmente, cargarse suficientemente como para que salte una chispa. Los arcos estáticos son generalmente de corta duración y no producen suficiente calor como para encender combustibles como el papel. Algunos son capaces de encender vapores o gases inflamables.

**CALOR GENERADO POR UN RELAMPAGO:** El relámpago es la descarga de la carga eléctrica de una nube con la carga opuesta de otra nube o la tierra; éste último puede generar altas temperaturas en cualquier material provocando en muchos casos su encendido.

**CALOR DE FRICCIÓN:** Calor de fricción es la energía mecánica usada en vencer la resistencia de la fricción. Cualquier fricción genera calor. El peligro depende de la cantidad de energía mecánica transformada en calor y la velocidad a la cual es generada.

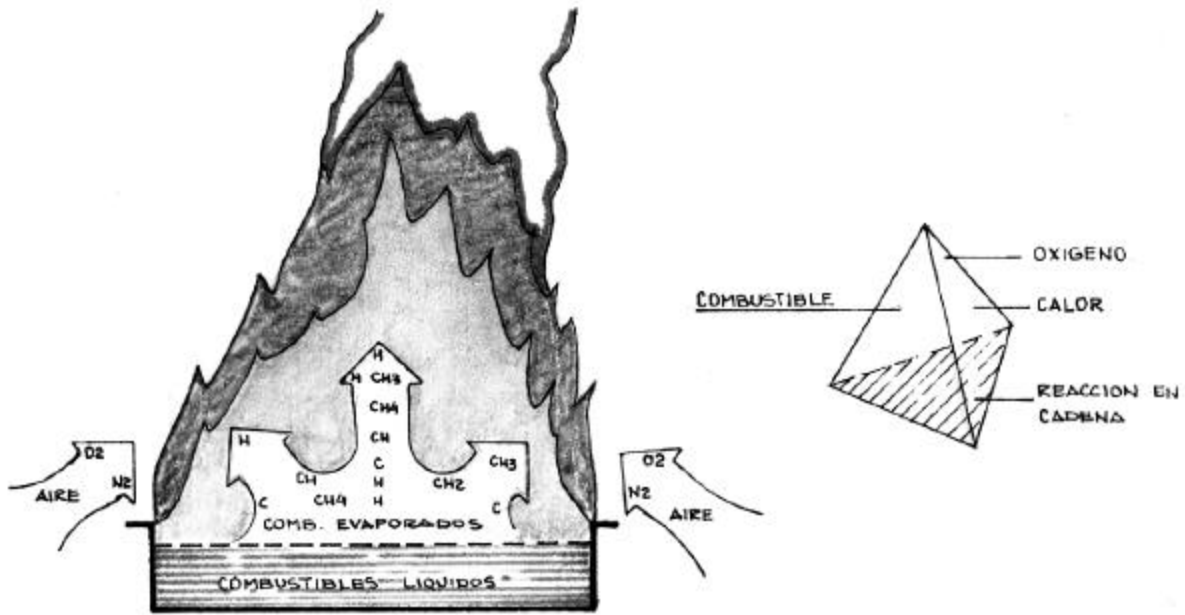
**CALOR DE ENERGIA MECANICA:** El calor de energía mecánica es responsable de un número significativo de incendios por año.

**CALOR DE COMPRESION:** Calor de compresión es el calor liberado cuando el gas es comprimido. La causa de que la temperatura de un gas aumenta cuando es comprimido ha hallado aplicación práctica en los motores diesel, donde el calor de compresión elimina la necesidad de un sistema de encendido. El aire es primero comprimido en un cilindro, después de lo cual el gasoil es inyectado con el aire comprimido vaporizado. El calor liberado cuando el aire es comprimido es suficiente para encender la mezcla gas-oil-aire vaporizado.

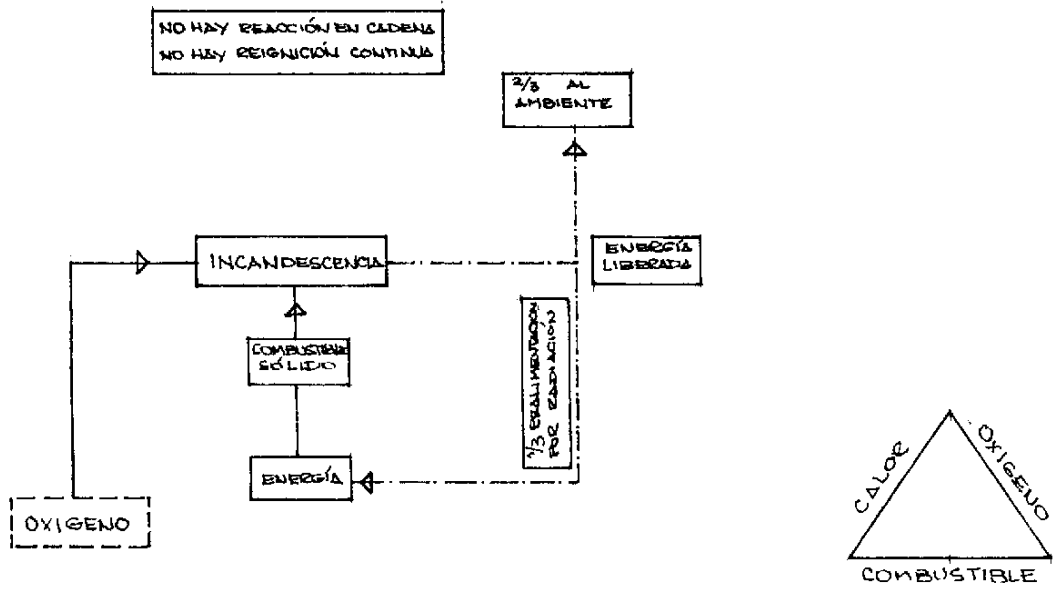
**CALOR DE ENERGIA NUCLEAR:** Como su nombre implica, calor de energía nuclear es el calor liberado a los núcleos de los átomos. El núcleo está compuesto por unidades de energía muy unidas por tremendas fuerzas que pueden ser liberadas bombardeando los núcleos de los átomos con partículas de energía. La energía nuclear es liberada en forma de calor, presión y radiaciones nucleares. En la fisión nuclear la energía es liberada por separación de núcleos; en la fusión nuclear la energía es liberada por la fusión de núcleos. La energía liberada por el bombardeo de núcleos es por lo menos 10 veces más grande que la liberada en una reacción química común. Una explosión nuclear resulta de la liberación instantánea de gran cantidad de energía nuclear calórica. El control de una fuente de energía liberada en tiempos de paz tiene igual uso que una usina generadora de energía eléctrica.

## **COMBUSTION CON LLAMAS**

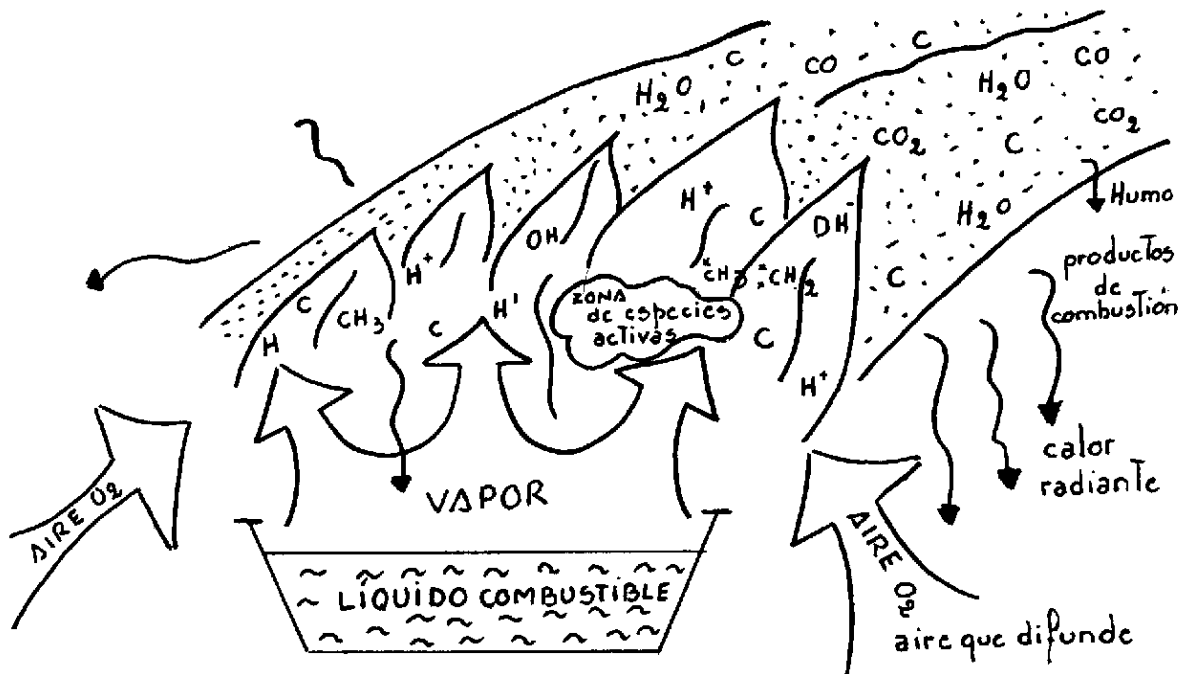
Los vapores son destilados, los que bajo las condiciones de radiación de calor son disociados en moléculas simples, hidrógeno libre, radicales libres y carbón libre. Debido a su evolución continua, ellos se desprenden y empiezan a arder a sus límites superiores de inflamabilidad, cuando sólo suficiente aire ha penetrado por difusión a través de la zona de la llama. A medida que estos vapores atraviesan la zona de la llama encuentran más aire y, por consiguiente, continúan quemando hasta que finalmente alcanzan su límite inferior de inflamabilidad en los bordes exteriores de la zona de la llama. Las partículas de carbón libre, que dan a la llama su luminosidad, son los componentes más lentos en quemar y, en la mayoría de los casos, no se encuentra presente suficiente aire para quemar completamente el carbón dando por resultado final una emisión de humo negro.



**COMBUSTION SIN LLAMAS:** No es una combustión en el espacio, sino una oxidación de la superficie. Esta clase de fuego también recibe las denominaciones de superficie al rojo, brasa, incandescencia, etc.



**REACCION EN CADENA:** La reacción en cadena de un fuego, es la fragmentación de moléculas formando productos intermedios inestables que se denominan "radicales libres". La concentración de los radicales libres es el factor determinante de la velocidad de la llama. La vida del hidróxilo radical libre es muy corta, aunque es lo suficiente como para ser de importancia vital para la combustión de los gases.

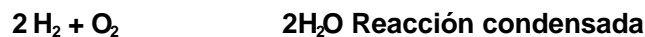


Cuando una batea que contiene un hidrocarburo es encendida, la misma producirá una clásica llama de difusión cuyo mecanismo de combustión se aprecia en la figura. Al encender la batea se comienza a consumir el vapor en equilibrio con el líquido, el que es reemplazado por nuevo combustible evaporado por el calor radiante negro proveniente de las llamas. La combustión continúa con un proceso acelerado de producción de vapor. El intenso calor craquea los vapores producidos en una variedad de fracciones de hidrocarburos de menor peso molecular, fragmentos moleculares (radicales libres), tales como CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, etc; hidrógeno libre y carbón libre. Estos elementos se producen en la región comprendida entre las llamas y el espejo líquido del tanque.

Dentro de la zona de quemado ocurren tres tipos de reacciones básicas: 1º) Los radicales de hidrocarburos se combinan en una serie de etapas sucesivas con el O<sub>2</sub> del aire, siendo reemplazadas las uniones C-H de dichos radicales por uniones C-C e H, uniones que continúan hasta el final de la combustión en una cadena de reacciones conocidas como hidroxilación.

En dichas reacciones el (OH) ión hidróxilo es tanto formado como consumido, siendo el responsable de la ramificación de la cadena y de la velocidad de combustión.

2º) El hidrógeno libre se oxida en una serie de etapas como se muestra:



La reacción en cadena se interpreta así:

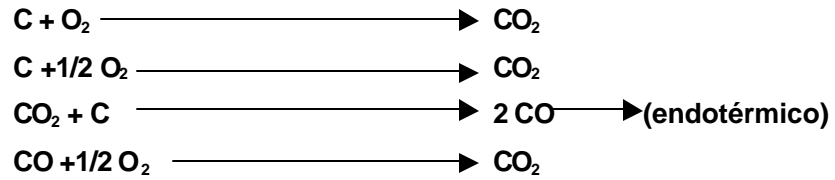


$\epsilon$  = energía de ignición

La primera y segunda reacción son referidas al proceso de ignición y ambas son endotérmicas, no obstante la 3º y 4º son fuertemente exotérmicas de manera que el efecto total neto es

exotérmico.

3°) El carbón libre sigue un curso de reacciones completamente diferentes. En primer lugar la combustión es estrictamente superficial, sin llamas. La cinética de reacción es muy lenta, y debido a ello el carbón no quema totalmente pasando gran parte la zona de la llama como negro humo (El tiempo de residencia en la zona de llama es insuficiente para una total combustión). El carbón puro quema en cuatro etapas:



La tercera reacción es fuertemente endotérmica absorbiendo alrededor de más del 60 % de la energía generada en la segunda reacción.