

UNA HISTORIA SOBRE EL FUEGO

Había una vez un hombre que estaba contemplando las formas de operar la naturaleza, y que descubrió, como consecuencia de su concentración y aplicación, la manera de hacer fuego. Este hombre se llamaba Nour. Decidió viajar de una comunidad a otra, mostrando a la gente su descubrimiento. Nour transmitió el secreto a muchos grupos de gentes. Algunos sacaron ventaja de este conocimiento. Otros, considerándolo peligroso, lo echaron antes de tomarse el tiempo para entender cuán valioso les podía ser este descubrimiento. Finalmente, una tribu ante la cual realizó una demostración, reaccionó con tan sorprendente pánico, que se abalanzaron sobre él y lo mataron, convencidos de que era un demonio.

Pasaron cientos de años. La primera tribu, que había aprendido el secreto del fuego, lo reservó para sus sacerdotes, quienes permanecieron influyentes y poderosos, mientras que la gente se congelaba. La segunda tribu olvidó el arte, adorando en cambio los instrumentos. La tercera, adoró una imagen de Nour, porque fue él quien les había enseñado. La cuarta conservó en sus leyendas la historia de cómo hacer fuego; algunos las creían, otros no. La quinta comunidad realmente hizo uso del fuego, y esto hizo posible que ellos se calentaran, que cocinaran sus alimentos y que manufacturaran toda clase de artículos útiles.

Después de muchísimos años, un hombre sabio y un pequeño grupo de sus discípulos viajaban a través de los territorios de estas tribus. Los discípulos estaban asombrados ante la variedad de rituales que encontraron, y cada uno dijo a su maestro; "Pero todos estos procedimientos están de hecho, relacionados con hacer el fuego, y nada más, ¡Deberíamos reformar a estas gentes! El maestro dijo "Muy bien, entonces recomendaremos nuestra travesía, al final de ella, aquellos que sobrevivan conocerán los problemas reales y como aproximarse a ellos".

Cuando llegaron a la primera tribu, el grupo fue recibido hospitalariamente. Los sacerdotes invitaron a los viajeros a su ceremonia religiosa de hacer fuego. Cuando hubo terminado y hallándose la tribu en un estado de agitación a causa del hecho que habían presenciado, el maestro dijo: "Alguien desea hablar?". El primer discípulo dijo: "Por la causa de la verdad me siento impulsado a decir algo a esta gente". "Si tu deseas hacerlo, por tu cuenta y riesgo, puedes hacerlo", dijo el maestro. Entonces el discípulo se adelantó hacia el jefe tribal y sus sacerdotes y dijo: "Yo puedo realizar el milagro que vosotros interpretáis como una especial manifestación de deidad. Si hago tal cosa ¿aceptaréis haber estado en un error por tantos años? Pero los sacerdotes gritaron: "Prendedlo". El hombre fue llevado fuera y nunca se le volvió a ver.

Los viajeros se fueron al próximo territorio, donde la segunda tribu estaba adorando los instrumentos para hacer el fuego. Nuevamente un discípulo se ofreció para intentar hacer entrar en razón a la comunidad. Con la autorización del maestro, dijo: "Pido permiso para hablaros como a personas razonables. Vosotros estáis adorando los medios por lo que algo puede ser hecho, ni siquiera la cosa en sí. De este modo impedís que su utilidad entre en acción. Yo conozco la realidad que yace detrás de esta ceremonia". Esta tribu está compuesta por gente más razonable pero dijeron al discípulo: "Tú eres bienvenido a nuestro medio como viajero y extranjero. Pero como tal, ajeno a nuestra historia y costumbres, no puedes entender lo que estamos

Seguridad-Prevención de incendio

haciendo. Cometes un error. Incluso es posible que estés tratando de hacer desaparecer o alterar nuestra religión. Por eso nos negamos a escucharte".

Los viajeros continuaron su travesía. Al arribar al territorio de la tercera tribu, encontraron delante de cada morada un ídolo que representaba a Nour, el autor del fuego. El tercer discípulo, dirigiéndose a los jefes de la tribu, dijo: "Este ídolo representa a un hombre, el cual simboliza una capacidad que puede ser utilizada". "Puede ser así, pero el penetrar en el real secreto es solo para pocos", respondieron los adoradores de Nour. "Es solo para los pocos que puedan comprenderlo, y no para aquellos que rehúsan enfrentarse con ciertos hechos", dijo el tercer discípulo. "Esta es una insigne herejía, y de un hombre que niquiera habla nuestra lengua correctamente, y que, no es un sacerdote ordenado en nuestra fe", murmuraron los sacerdotes. Y no hubo progreso alguno.

El grupo continuó su jornada y arribó a las tierras de la cuarta tribu. Entonces un cuarto discípulo se adelantó en la asamblea tribal. "La historia de hacer fuego es verdadera, y sé cómo puede ser hecho", dijo. La confusión cundió en la tribu, que se dividió en varias fracciones. Algunos dijeron: "Esto puede ser verdad, y de ser así, queremos saber cómo hacer fuego." No obstante, cuando ésta gente fue examinada por el maestro y sus seguidores, éstos comprobaron que la mayoría estaba ansiosa por hacer fuego para provecho personal, sin comprender que era algo para el progreso humano. Las distorsionadas leyendas que habían penetrado muy profundamente en la mente de la mayoría de ellos, que lo que pensaban que podrían representar la verdad eran frecuentemente desequilibrados, y no podían hacer fuego aún si se les hubiese enseñado. Había otra fracción que dijo: "Por supuesto que las leyendas no son ciertas. Este hombre sólo está tratando de engañarnos a fin de tener un lugar de privilegio entre nosotros." Y una tercera fracción dijo: "Preferimos las leyendas como están, pues ellas son la verdadera argamasa de nuestra cohesión. Si las abandonamos y descubrimos que esta nueva interpretación es inútil, ¿qué será entonces de nuestra comunidad?" Y, además, hubo otros puntos de vista.

Así, el grupo continuó su camino hasta que llegó a las tierras de la quinta comunidad, donde hacer fuego era usual, y donde la gente tenía otras preocupaciones. El maestro dijo a sus discípulos: "Vosotros debéis aprender cómo enseñar, pues el hombre no quiere ser enseñado. Antes que nada, deberéis enseñar a la gente cómo aprender." Y antes de eso, deberéis enseñarles que todavía hay algo que aprender. Ellos imaginan que están en condiciones de aprender. Pero quieren aprender aquello que imaginan debe ser aprendido, y no lo que deben aprender primero. Cuando haya aprendido todo esto, podréis entonces idear la manera de enseñar.

Conocimiento sin especial capacidad para enseñar, no es la misma cosa que conocimiento y capacidad.

INTRODUCCIÓN

Zeus, Dios griego que encargó a su hijo Hefaiostos, cuidar el fuego como símbolo y fuente de vida; no alcanzó a imaginar la importancia que tendría éste en el desarrollo de la humanidad; es por esto que el proceso del fuego y su aprovechamiento como fuente de energía, siempre ha generado gran interés para todo el mundo y en especial para la comunidad científica que lo estudia y modela, en búsqueda de su optimización, mayor beneficio en términos energéticos, minimización de la contaminación e impacto del “don divino” que han cuidado los dioses.

Cuando la combustión es el producto de un incendio, además de no brindar utilidad, se transforma en un agente particularmente desbastador que puede implicar la pérdida de vidas, equipos, propiedades y pérdidas de tiempo de operación que se traducen en cuantiosas pérdidas de dinero. Se necesitan tres elementos y determinadas condiciones, que se iren estudiando, para que se desencadene una combustión, nos referimos al **combustible, al oxígeno que contiene el aire y a la fuente de calor**, ha de haber calor suficiente para vaporizar parte del combustible (si es sólido o líquido), para que una vez mezclado con el oxígeno poder inflamarse en presencia de una fuente de ignición. Para que la combustión se sostenga, el fuego tiene que generar suficiente calor para vaporizar más combustible, que a su vez se mezcla con el oxígeno y se inflama, generando más calor y repitiéndose

1) EL CUENTO DEL FUEGO

Para entender el proceso de la combustión vamos a describir los distintos fenómenos físicos y químicos existentes; analizaremos en primer lugar la ignición y combustión de un leño de madera en una situación típica, por ejemplo una chimenea, o todavía más tradicional, la parrilla para el asadito.

a- Hay que suponer que esta madera experimenta un calentamiento inicial externo por una fuente externa de calor, no importa por ahora porque medios y motivos. Conforme la temperatura superficial de la madera se va aproximando a la temperatura de ebullición del agua, la madera empieza a desprender gases, principalmente vapor de agua. Estos gases iniciales tienen muy poco, o nulos vapores combustibles, pero al incrementarse la temperatura y sobrepasar la de ebullición del agua, el proceso de desecación avanza hacia el interior de la madera.

b- Al continuar el calentamiento y acercarse la temperatura a los 300°C se aprecia una modificación de color, visualización de la pirólisis² que se inicia. Al pirolizarse la madera, desprende gases combustibles y deja un residuo carbonoso negro, denominado carbón vegetal. La pirólisis se profundiza en el tablón de madera a medida que el calor continúa actuando.

c- Inmediatamente después de comenzar la pirólisis, la madera produce rápidamente suficientes gases combustibles como para alimentar una combustión en fase gaseosa. A medida que los gases calientes suben por efecto chimenea, es decir, al estar calientes se vuelven más livianos que el aire que los rodea, y ascienden; a medida que éstos gases ascienden, el espacio que dejan es ocupado por aire más frío que ingresa por un efecto denominado "difusión", el aire ingresa solo por efecto de la depresión producto del ascenso de los gases calientes. También se suele decir, que los gases calientes en su ascenso arrastran el aire que los rodea. El aire que ingresa más el aire que los gases combustibles calientes van encontrando en su ascenso, se mezclan, conformando así una mezcla combustible, que es la que alimenta la combustión. Esta mezcla debe estar dentro del rango de inflamabilidad. Mientras esto se va produciendo, la temperatura sigue en franco aumento producto de la fuente de calor externa, cuando llegamos al nivel de temperatura denominada "temperatura de ignición", sólo nos va a hacer falta para que surja la combustión una "fuente de ignición de energía suficiente" que la provoque. Si no existe esta fuente de ignición, la superficie de la madera necesitará alcanzar una temperatura mucho más elevada denominada "temperatura de autoignición".

d- Una vez producida la ignición de la mezcla combustible, la llama cubre rápidamente toda la superficie pirolizada. Esta llama genera una gran cantidad de calor, parte de este calor se pierde (2/3 del producido) en el medio ambiente, calienta el aire, las estructuras, las paredes, etc., y otra parte retorna (1/3 del producido) al proceso de la combustión calentando al combustible, a los gases combustibles, al aire que ingresa a la mezcla combustible y a la propia mezcla combustible. Este calor que retorna e incide sobre la madera, calienta la superficie y produce un aumento en la velocidad de la pirólisis, por ende, produce un aumento de la cantidad de gases combustibles.

e- Paremos el tiempo en el punto de la temperatura de ignición y veamos que está pasando con el calor puesto en juego y los gases combustibles. Tenemos una llama que está consumiendo gases combustible y oxígeno del aire, es decir, consume mezcla combustible; y también tenemos un combustible que está generando gases combustibles, pero para poder generar estos gases combustibles, el combustible necesita calor, no importa de dónde provenga, pero si no tiene calor suficiente no

Seguridad-Prevención de incendio

podrá generar la cantidad de gases combustibles necesarios para alimentar el frente de llama

f- Si cuando estamos al nivel de la temperatura de ignición retiramos la fuente de ignición que proporciona el calor para producirse la ignición, las llamas se apagan porque la superficie de la madera pierde demasiado calor por radiación térmica y por conducción hacia su interior, la fuente de ignición aporta un diferencial muy pequeño de calor, pero suficiente para mantener el equilibrio térmico necesario.

También podemos decir que la combustión se apaga porque no hay la suficiente cantidad de gases combustibles para mantener la combustión dentro del rango de inflamabilidad.

El combustible sigue caliente y sigue emitiendo gases combustibles, pero éstos no alcanzan para mantener una combustión.

g- También puede suceder que la combustión continúe, si existiera una superficie de madera (o material aislante) paralela y contigua situada frente a la madera inflamada, que pueda captar y devolver parte de la pérdida de radiación superficial, en este caso, no es que no necesitemos la fuente de ignición, sino, que esta fue reemplazada. Este fenómeno de captación y devolución de calor por parte de los materiales vecinos, está presente en todo el proceso de la combustión. Lo dicho anteriormente explica por qué no podemos quemar un solo tronco de madera en la chimenea o parrilla, sino varios capaces de captar las pérdidas de calor radiante unos de los otros.

h- Dejemos correr nuevamente el tiempo y mantengamos la fuente de ignición en su lugar, en este caso la combustión continúa y se produce, tal como dijimos anteriormente, un aumento progresivo y muy violento de la temperatura, cuando llegamos a la temperatura de inflamación, se produce otro fenómeno, en este caso la combustión genera tanto calor que logra alimentarse por si misma de calor, se vuelve independiente de la fuente externa de calor y de la fuente de ignición, la combustión se autosostiene, "vive" por si misma.

i- Es fácil observar que la propagación ascendente de las llamas es mucho más rápida que en el sentido descendente u horizontal. Ello es debido a que el calor de las llamas se desplaza normalmente hacia arriba, y proporcionan calor a una zona mucho mayor en sentido ascendente. Por tanto, cada sucesiva ignición ascendente agrega al fuego un volumen ardiente mucho mayor que en cualquier otra dirección.

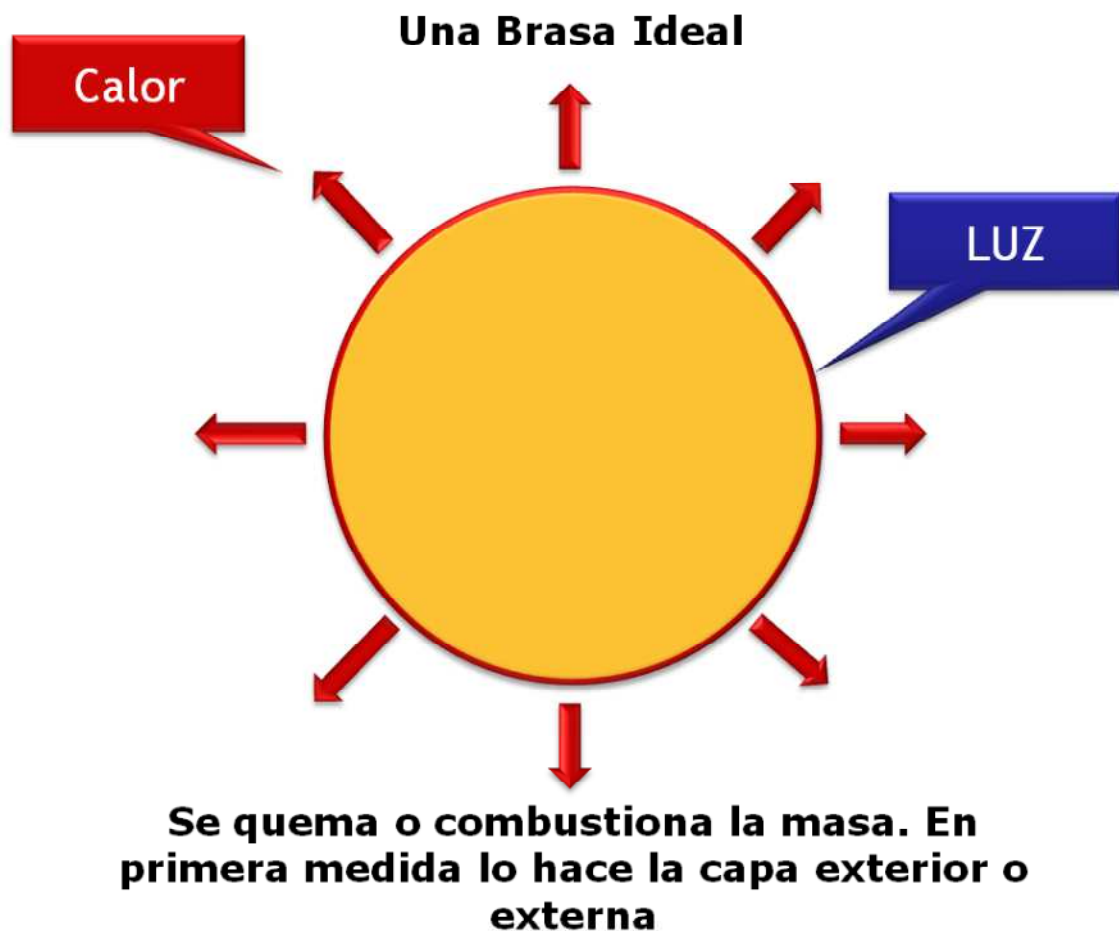
j- La combustión de llama o de tipo espacial continúa mientras la madera siga emitiendo gases combustibles, pero como se trata de un cuerpo finito tiene limitada capacidad de emitir gases. El grosor de la capa carbonizada aumenta al continuar la combustión. Dicha capa, que posee buenas propiedades de aislante térmico, limita el caudal de calor que penetra hacia el interior de la madera y, por lo tanto, tiende a reducir la intensidad de la pirólisis, la cual disminuye también al agotarse el volumen de madera sin pirolizar. Cuando se agota la madera sin pirolizar o mejor dicho, cuando la cantidad de gases que emite la madera no alcanza para mantener la mezcla combustible dentro del rango inflamable, se produce un cambio en el tipo de combustión, llegamos a una etapa donde no se puede mantener la combustión de la fase gaseosa o espacial (por falta de suficiente cantidad de gases combustible o nula), el oxígeno del aire entra en contacto directo con la capa carbonizada y facilita que continúe directamente la combustión del tipo sin llama, incandescente, de brasa, de masa o de superficie, donde lo que se está quemando es el sólido propiamente dicho.

k- La primera etapa de la combustión de masa se da en el exterior del combustible sólido, en este caso tenemos una combustión que emite luz pero no llama, y lo que se está quemando es precisamente la primera capa de celulosa.

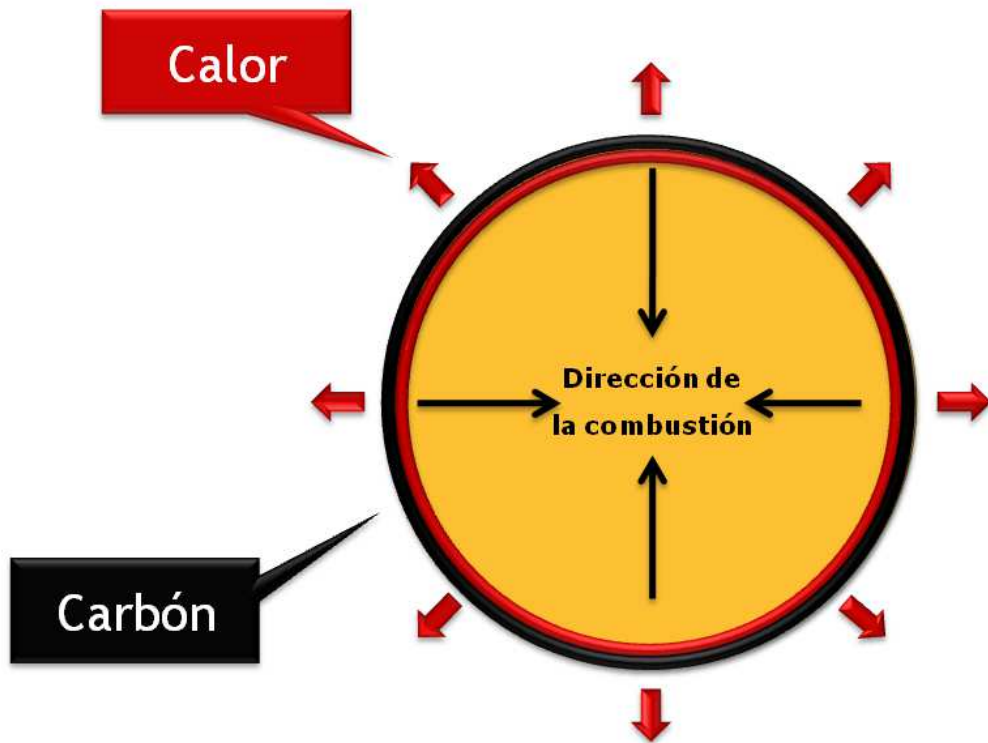
Seguridad-Prevención de incendio

Termina la combustión de esta primera capa de combustible se produce una capa de carbón vegetal que recubre todo el combustible, produciendo dos fenómenos ya mencionados, por un lado al ser el carbon un material aislante térmico, evita la pérdida de calor del interior de material combustible y por el otro desaparece la luminosidad de la combustión, transformándose en una combustión invisible, lo que se está quemando es el interior del sólido.

Esta aislación que produce el carbón y que recubre el combustible que se quema en el interior, hace que la combustión sea lenta. Además, como este tipo de combustión se da únicamente en materiales poroso, los poros permiten el ingreso del aire suficiente para que se mantenga la reacción de oxido reducción necesaria.



Una Brasa Ideal



Después de la combustión de la capa exterior, se produce una capa de carbón.

Seguridad-Prevención de incendio

liberan abundante cantidad de humo y gases de la combustión incompleta, tales como monóxido de carbono. Los vapores del combustible no disponen de aire suficiente para su combustión completa antes de enfriarse y abandonar la zona.

VA GRAFICO PAGINA 13

2) PROCESOS QUÍMICOS DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

Es bastante común pensar que la combustión es la llama y es un error, porque ésta es un producto de la combustión. La combustión es una reacción química que se desarrolla en el seno de la mezcla combustible o inflamable.

Para entender el proceso de la combustión con mayores detalles, es necesario manejar el modelo de oxidación-reducción de los materiales involucrados en una reacción química como la combustión; en el cual hay una transferencia de electrones de uno a otro, denominándose oxidación a la pérdida de electrones y reducción al fenómeno sufrido por el material que los recibió. Entonces en una combustión siempre habrá una parte que “dona” sus electrones y otra que los “recibe”, a las cuales se les llama Agente Reductor y Agente Oxidante respectivamente. Por lo tanto en una combustión, el agente reductor es el combustible al ceder electrones y sufre una oxidación por la pérdida de estos; que son recibidos por el oxígeno generándole una reducción, lo que se puede resumir en el siguiente cuadro.

| TIPO | AGENTE | ELECTRONES | FENÓMENO |
|-------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Comburente | Oxidante | Gana | Reducción |
| Combustible | Reductor | Pierde | Oxidación |

Si se modela la combustión según el intercambio de electrones ó modelo de oxidación-reducción, podemos decir por ejemplo, que el propano (combustible) es el agente reductor y el oxidante es el oxígeno del aire

3) ¿QUE ES LA COMBUSTIÓN?

La combustión es una reacción química de óxido-reducción exotérmica y autoalimentada con presencia de un combustible en fase sólida, líquida y/o gaseosa. El proceso está generalmente (aunque no necesariamente) asociado con la oxidación de un combustible por el oxígeno atmosférico con emisión de luz. Generalmente, los combustibles sólidos y líquidos se vaporizan antes de arder. A veces un sólido puede arder directamente en forma de incandescencia o rescoldos. La combustión de una fase gaseosa generalmente se produce con llama visible.

Una combustión puede describirse de una manera muy general como una reacción química de óxido-reducción que se cumple a temperatura elevada y con evolución de suficiente calor como para mantener la mínima temperatura necesaria para que la reacción prosiga.

Por ejemplo, si el carbón se calienta hasta unos 500°C, temperatura necesaria para iniciar la reacción, ésta prosigue por sí sola debido a que por cada 12 gramos del elemento carbono que se oxida completamente hasta anhídrido carbónico se generan unas 95 kcal, cantidad de calor más que suficiente para mantener el carbón a una temperatura que posibilite su total combustión, su oxidación, siempre que al mismo tiempo se disponga del oxígeno requerido para esa reacción, o sea, 32 gramos de oxígeno por cada 12 gramos de carbono elemental, lo que puede ser provisto por unos 112 litros de aire atmosférico.

Una llama es una reacción de oxidación en fase gaseosa que se produce en una zona mucho más caliente que sus alrededores, y que generalmente produce luz. Por ejemplo, la llama amarilla de una vela o la llama azul de un mechero de gas.

La llama es gaseosa. Cuando arde un cuerpo sólido como una cerilla o una vela, una parte del calor de la llama gaseosa se transmite al sólido, haciendo que se evapore. Esta evaporación se puede producir con o sin descomposición química de las moléculas. Si se produce descomposición, la reacción se llama pirólisis.

Hay otro modo de combustión que no produce llama. Se llama combustión incandescente, cerrada sin llama. Así es como se quema un cigarrillo. Los muebles tapizados con relleno de borra de algodón o espuma de poliuretano pueden arder también de esta manera. Un montón grande de virutas, aserrín o carbón puede estar ardiendo así durante semanas o meses.

La combustión incandescente se limita generalmente a materiales porosos que pueden formar una escoria carbonosa al calentarse. El oxígeno del aire se propaga lentamente entre los poros del material y dentro del mismo se produce una zona de reacción brillante, aunque este brillo no se vea siempre desde el exterior. Estos materiales porosos son malos conductores del calor, de modo que aunque la reacción de combustión se produce lentamente, conservan suficiente calor en la zona de reacción para mantener la temperatura elevada necesaria para que la reacción continúe.

No es raro que, si un mueble tapizado se quema, se produzca una combustión incandescente que dure varias horas. Durante ese tiempo la zona de reacción se extiende sólo entre 5 y 10 cm desde el punto de ignición y después, de repente, el mueble se puede ver envuelto en llamas. La velocidad de la combustión a partir del momento en que se ha producido la llama es muy superior a la de la combustión incandescente.

La combustión necesita altas temperaturas y las reacciones deben sucederse de modo tan rápido que generan calor a mayor velocidad de la que se disipa. De este modo, la zona de reacción no se enfría. Si se hace algo para alterar ese equilibrio de calor, como aplicar un refrigerante, es posible que se apague la combustión. No es necesario que el refrigerante elimine el calor con la misma velocidad con que se genera, pues la zona

Seguridad-Prevención de incendio

de combustión pierde durante el incendio parte del calor, que se transmite a los alrededores más fríos. En algunos casos sólo se necesita una pequeña pérdida adicional de calor para inclinar el proceso hacia la extinción.

La extinción se puede conseguir enfriando la zona de combustión gaseosa o el combustible sólido o líquido. En este último caso, el enfriamiento evita la producción de vapores combustibles.

Como alternativa a la eliminación del calor de la zona de combustión para ralentizar las reacciones, también se puede reducir la temperatura de la llama modificando el aire que suministra el oxígeno. El aire contiene un 21% de oxígeno en volumen, siendo el resto prácticamente sólo nitrógeno, que es un gas inerte. El nitrógeno que llega a la llama junto con el oxígeno absorbe el calor, con el resultado de que la temperatura de la llama es mucho menor de lo que sería si se quemara sólo oxígeno. Si se añade al aire aplicado a la llama más nitrógeno o algún otro gas que no reaccione químicamente, como el vapor de agua, dióxido de carbono o una mezcla de productos de la combustión, el calor absorbido por estos gases inertes reduciría aún más la temperatura de la llama.

El Balance

Otra manera de explicar el fenómeno de autoalimentación de la combustión, o entender el porqué la combustión pasa de ser una reacción que necesita de la colaboración de una fuente de calor externa a ser autosuficiente, es la siguiente: dijimos que cuando un combustible se calienta comienza a desprender gases combustibles (en algunos casos esto pasa a temperatura ambiente), estos gases combustibles mezclados con el oxígeno del aire forman una mezcla inflamable o combustible; si en estas condiciones alguien le acerca una fuente de ignición a esta mezcla combustible, esta se enciende. En el momento que la mezcla se enciende el fuego ahí formado comienza a consumir gases combustible y oxígeno, para que la combustión pueda proseguir es necesario seguir alimentando el frente de combustión con gases combustibles y oxígeno. Podemos decir que una combustión pasa a ser autoalimentada cuando la cantidad de gases combustibles que genera el combustible es al menos igual o mayor que la cantidad de gases combustible que está consumiendo el frente de llamas. También podemos decir que si la cantidad de calor generada por la combustión y los elementos adyacentes no es suficiente para generar el desprendimiento de la cantidad de gases combustibles necesarios para mantener el frente de llama, ésta se apaga; o sea, la cantidad de calor generada por la combustión de los gases combustibles y los elementos adyacentes deben ser suficientes para generar el desprendimiento de la cantidad de gases combustibles que está consumiendo el frente de llama.

Seguridad-Prevención de incendio

Resumen 1: el combustible debe generar una cantidad de gases combustibles mayor o al menos igual que la cantidad de gases combustibles que está consumiendo el frente de llama.

Resumen 2: la cantidad de calor generado por la combustión tiene que ser mayor o al menos igual a la cantidad de calor que necesita el combustible para desprender gases combustibles más las pérdidas de calor por radiación, convección y transmisión.

Reacciones Oxidantes

Las reacciones oxidantes relacionadas con los incendios son exotérmicas, lo que significa que el calor es uno de sus productos. A menudo son reacciones complejas y no se conocen por completo. Sin embargo, podemos formular algunas observaciones consideradas útiles.

Una reacción de oxidación exige la presencia de un material combustible y de un agente oxidante. Los combustibles son innumerables materiales que, debido a su composición química, se pueden oxidar para producir otros compuestos relativamente estables, como dióxido de carbono y agua. Los hidrocarburos, como el propano (C_3H_8), constan únicamente de carbono e hidrógeno y se pueden considerar "combustibles prototipos". Prácticamente todos los combustibles corrientes, sean sólidos, líquidos o gaseosos, contienen importantes proporciones de carbono e hidrógeno.

El agente oxidante más corriente es el oxígeno molecular O_2 del aire, que consta aproximadamente de un quinto de oxígeno y cuatro quintos de nitrógeno. A pesar de que el oxígeno juega un papel muy importante en la mayoría de los procesos de combustión, debe mencionarse que ciertos metales, tales como el calcio y el aluminio, pueden quemar en nitrógeno; que el óxido nitroso alimenta la combustión del fósforo, del carbón y de muchos otros elementos y aun hace que una ascua (chispa) se convierta en llama, del mismo modo que lo hace el oxígeno; y que los vapores del ácido nítrico causen que un ovillo de lana se envuelva en llamas.

Hay también un número de sustancias que se descomponen directamente al ser expuestas a temperaturas suficientemente elevadas en la ausencia de cualquier otro material. Ejemplos de estos materiales son la hidrazina (N_2H_4), el nitrometano (CH_3NO_2), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el ozono (O_3). Estos elementos anteriores incluyen algunos de los combustibles más conocidos para cohetes. Aunque existen muchos ejemplos de reacciones exotérmicas en las que el oxígeno no se encuentra presente, no nos ocuparemos de ellas, sino que trataremos directamente con la forma más usual de fuego, es decir, aquel que involucra aire con varios combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

Hay ciertos productos químicos que son potentes oxidantes, como el nitrato sódico ($NaNO_3$) y el clorato potásico ($KClO_3$), que si se mezclan íntimamente con un combustible sólido o líquido, producen una mezcla que reacciona fuertemente. Así, la pólvora es una mezcla física de carbono y azufre (el combustible) con nitrato sódico (el oxidante). Si los grupos reactivos, como el de los nitratos, se incorporan químicamente a un combustible, como el nitrato de celulosa o el trinitrotolueno (TNT), la mezcla resultante puede ser muy inestable y, en condiciones adecuadas, se descompondrá violentamente.

Hay circunstancias en las que intervienen especies reactivas en las que la combustión puede dar lugar sin oxígeno. Así, los hidrocarburos pueden "quemarse" en una atmósfera de cloro o el polvo de zirconio puede arder en dióxido de carbono puro.

Seguridad-Prevención de incendio

Temperatura de Ignición

Es la menor temperatura a la que hay que elevar un material combustible para que los vapores combustibles desprendidos formen con el aire que se encuentra sobre el mismo una mezcla inflamable, que se enciende al acercársele una fuente de ignición. La combustión no continúa al retirar la llama o fuente de ignición. La ignición constituye el fenómeno que inicia la combustión. La ignición producida al introducir una pequeña llama externa, chispa o brasa incandescente (fuente de energía), constituye la denominada ignición provocada. Si la ignición no la provoca un foco externo, se denomina autoignición.

Temperatura de Inflamación

Si se continúa calentando el líquido combustible sobre su temperatura de ignición encontraremos una temperatura a la cual la velocidad de desprendimiento de vapores es tal que una vez que se inicia la combustión, la misma continúa sin necesidad de acercarse nuevamente la llama.

La temperatura más baja que necesita alcanzar un combustible para emitir vapores en proporción suficiente para permitir la combustión continua.

Puede definirse como la mínima temperatura a que una sustancia (sólida, líquida o gaseosa) debe ser calentada a fin de iniciar una combustión que se sostenga por sí misma, independientemente de las fuentes externas de calor.

Temperatura de Autoinflamación

Es la mínima temperatura a la cual debe elevarse una mezcla de vapores inflamables y aire, para que se encienda espontáneamente sin necesidad de la presencia de una fuente de ignición externa. Esta temperatura suele ser muy superior a las anteriores.

A título de ejemplo se transcribe una pequeña tabla con algunos valores de las temperaturas de ignición y autoinflamación:

| PRODUCTO | Temp. Ignición (°C) | Temp. Autoinflamación (°C) |
|-------------------|---------------------|----------------------------|
| Aldehído acético | 27 | 185 |
| Alcohol etílico | 21 | 378 |
| Aceite castor | 229 | 448 |
| Kerosene | 37 | 254 |
| Nafta | 7 | 260 |
| Eter isopropílico | 27 | 463 |
| Acetato de metilo | 9 | 501 |

En determinadas condiciones de temperatura y presión, la mayoría de las mezclas de gases se autoinflama. A cualquier temperatura, hay moléculas con energía suficiente para reaccionar cuando colisionan; generalmente no se detectan ni las reacciones ni el calor disipado por ellas. A determinadas temperaturas, las reacciones intermoleculares son lo suficientemente numerosas para que la mezcla de gases inicie el autocalentamiento y alcance posteriormente la temperatura de inflamación. Se inicia

Seguridad-Prevención de incendio

entonces la propagación de la combustión si la mezcla resulta inflamable a la temperatura y presión alcanzadas.

La autoignición depende de las mezclas específicas de gases, el volumen y geometría del contenedor, los materiales de construcción del mismo y la temperatura y presión inicial de la mezcla y ambiente circundante. Las temperaturas de autoignición divulgadas dependen del método de determinación y no pueden utilizarse indiscriminadamente. La aplicación de las mismas a situaciones reales resulta delicada y potencialmente peligrosa, debido a la existencia de efectos de pared térmicos y catalíticos.

La importancia de esta temperatura radica en que si en una industria se procesa material combustible por encima de la temperatura de autoignición, un escape accidental de producto se enciende sólo sin que sea necesaria la presencia conjunta de la fuente de ignición, lo que convierte a este tipo de proceso en una situación en extremo peligrosa

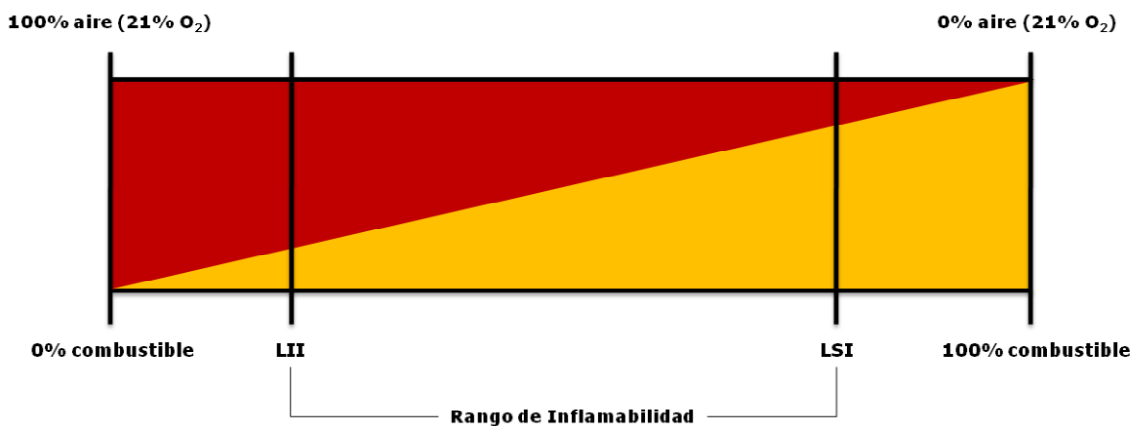


Límites de Inflamabilidad

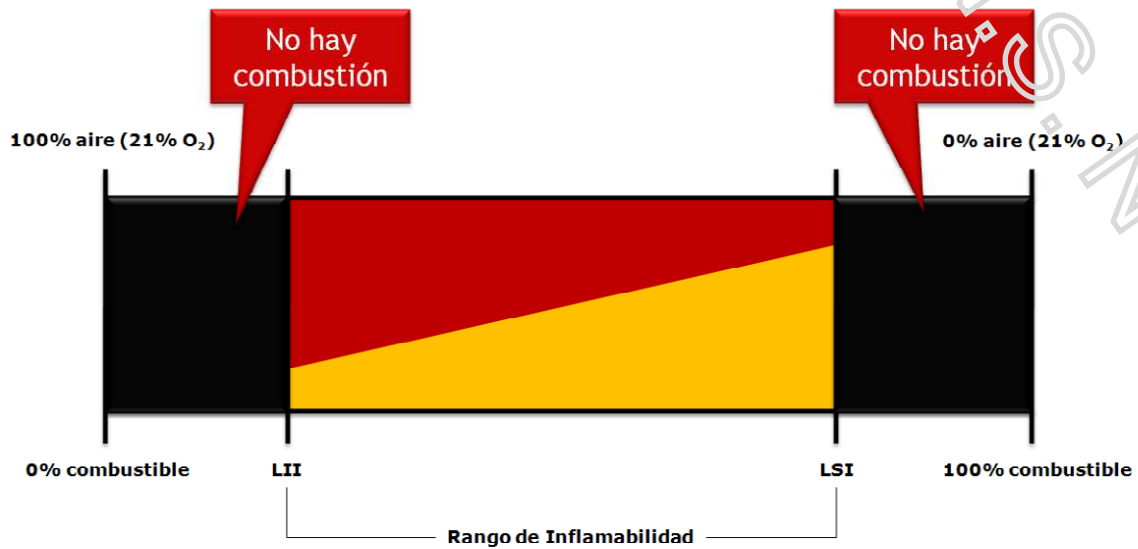
Son los límites máximo y mínimo de la concentración de un combustible dentro de un medio oxidante, por lo que la llama, una vez iniciada, continúe propagándose. Por ejemplo, las mezclas de aire e hidrógeno permiten la propagación de la llama si la concentración de hidrógeno se encuentra entre el 4 y 74% en volumen, a 21° C y a presión atmosférica. La cifra menor corresponde al valor límite mínimo (mezcla pobre) y la mayor al límite máximo (mezcla rica) de la inflamabilidad.

Así como el calor debe ser suficiente para alcanzar la temperatura de ignición, la relación combustible-comburente (aire) debe estar dentro de los límites de inflamabilidad.

En caso de los materiales inflamables estas proporciones se determinan como porcentajes en volumen de gas o vapor en aire. Por lo tanto los porcentajes mínimos y máximos de gas o vapor combustible necesarios para formar mezclas inflamables, constituyen los límites inferior (LII) y superior (LSI) de inflamabilidad respectivamente. La diferencia entre ambos límites define lo que se conoce como rango inflamable



Seguridad-Prevención de incendio



Si la concentración de gas metano en aire es menor de 2,2% no se produce la ignición por resultar la cantidad de combustible insuficiente (mezcla pobre) y por encima de 9,5% tampoco se produce la ignición por resultar demasiado rica.

Es posible impedir la propagación de una llama en una mezcla de gases combustibles mediante un exceso de cualquiera de sus componentes.

En la práctica, si no podemos controlar la posibilidad de inflamación en una mezcla de gases, podemos prevenirla asegurándose que la mezcla esté fuera de rango de inflamabilidad. La técnica de inertización constituye un ejemplo del tema que estamos tratando.

"Inertización significa el uso de un gas inerte para hacer que la atmósfera de un recipiente hermético sea no inflamable. La inertización, en efecto, reduce el contenido de oxígeno en el espacio libre del tanque a un porcentaje por debajo del cual no puede ocurrir la ignición, reemplazando el oxígeno con un gas inerte".

La técnica de trabajar en ambientes con exceso de combustibles, es decir, por encima del LSI, aunque teóricamente segura, no se emplea en la práctica por producir un ambiente NO seguro, dado que cualquier "bolsa" de aire o pequeño ingreso nos introduciría nuevamente en el rango de inflamabilidad, es más fácil controlar la ausencia de gases combustibles, que la presencia de aire, del cual estamos rodeados

Limites Inferior y Superior de Inflamabilidad

| SUSTANCIA | LII % en aire | LSI % en aire |
|---------------------|------------------|------------------|
| Acetona | 2,6 | 12,8 |
| Acetileno | 2,5 | 81,0 |
| Alcohol Etílico | 3,3 | 19,0 |
| Gasolina | 1,4 | 7,6 |
| Gas Natural | 3,8 | 13,0 |
| Hidrógeno | 4,0 | 75,0 |
| Monóxido de carbono | 12,5 | 74,0 |
| Propano | 2,2 | 9,5 |

Seguridad-Prevención de incendio

| | | |
|----------|-----|-----|
| Kerosene | 0,7 | 5,0 |
|----------|-----|-----|

Resumen

Citamos a continuación las condiciones y elementos necesarios para que se produzca una combustión:

- Material comburente o agente oxidante.
- Material combustible o agente reductor.
- Calor suficiente para lograr que el material combustible desprenda gases o vapores combustibles, esto puede suceder a temperatura ambiente como en el caso de los líquidos inflamables.
- Lograr que la mezcla de los gases o vapores combustibles con el agente oxidante, llamada mezcla inflamable o combustible, alcance como mínimo la temperatura de ignición.
- Esta mezcla inflamable deberá estar dentro del rango inflamable.
- Una fuente de ignición de energía suficiente para encender la mezcla inflamable.

4) LA NATURALEZA DEL FUEGO

Cuando se ponen en contacto dos o más sustancias en ciertas condiciones, éstas pueden combinarse entre sí obteniéndose sustancias diferentes. Se dice entonces que se ha producido una reacción química. Las reacciones químicas pueden ser de muy diferentes tipos o clases, siendo la reacción de oxidación la más importante al estudiar la naturaleza del fuego. Básicamente se define la reacción de oxidación como aquella que se produce al combinarse cualquier sustancia con el oxígeno. La corrosión es un ejemplo de reacción de oxidación.

Las reacciones químicas pueden ir acompañadas de fenómenos energéticos tales como luz, electricidad, etc., de todos estos fenómenos el más importante y evidente es el calor. Al producirse algunas reacciones éstas desprenden calor y reciben el nombre de exotérmicas. Por el contrario existen reacciones que sólo se producen si reciben una determinada cantidad de calor, a éstas se las denomina endotérmicas.

El fuego no es más que la manifestación energética de la reacción química conocida con el nombre de COMBUSTIÓN. Se define la combustión como una reacción química de oxidación muy viva en la cual se desprende una gran cantidad de calor.

El proceso de la combustión es complejo. Cuando una sustancia combustible se calienta ésta desprende uno vapores o gases. Este fenómeno se conoce con el nombre de pirolisis. Estos vapores se combinan con el oxígeno del aire que en presencia de una fuente de ignición arden. Hasta este momento la combustión se ha comportado como una reacción endotérmica, es decir, necesita el aporte de calor para que pueda iniciarse. Una vez que estos vapores empiezan a arder, se desprende calor y la reacción es exotérmica. Si la cantidad de calor desprendida no es suficiente para generar más vapores del material combustible, el fuego se apagará, por el contrario, si la cantidad de calor desprendida es elevada, el material combustible seguirá descomponiéndose y desprenderá más vapores que se combinarán con el oxígeno, se inflamarán y el fuego aumentará.

Esta descripción del proceso de combustión es válida tanto si el combustible se encuentra en estado sólido como líquido. Los gases no necesitan calentarse, por este motivo los gases combustibles son muy peligrosos y su combustión muy rápida.

En algunos combustibles sólidos, se observa que su combustión pasa por fases claramente distintas. Así, por ejemplo, al hacer arder un trozo de madera, durante un cierto tiempo su combustión se produce con llama, después la llama desaparece, si bien, la combustión continúa. A este tipo de combustión sin llama se la conoce con el nombre de incandescencia, también se la suele denominar combustión en fase sólida y se explica sobre la base del fenómeno de carbonización que experimentan algunos sólidos después de estar sometidos a un calentamiento durante cierto tiempo. Este tipo de combustión es muy lento, por el contrario la combustión con llama es más rápida.

EL TRIANGULO DEL FUEGO

La combustión es representada por un triángulo equilátero en el que cada lado simboliza cada uno de los elementos para que el mismo exista.

El triángulo de fuego no explica cómo se produce o que elementos intervienen en el proceso de la combustión, sino, que fundamentalmente es un elemento didáctico que nos sirve para simbolizar los mecanismos de acción sobre el fuego de los distintos elementos extintores.

Seguridad-Prevención de incendio

Los lados de este triángulo son:

- 1.- Combustible
- 2.- Comburente/oxidante (oxígeno)
- 3.- Calor (no confundir con fuente de ignición)

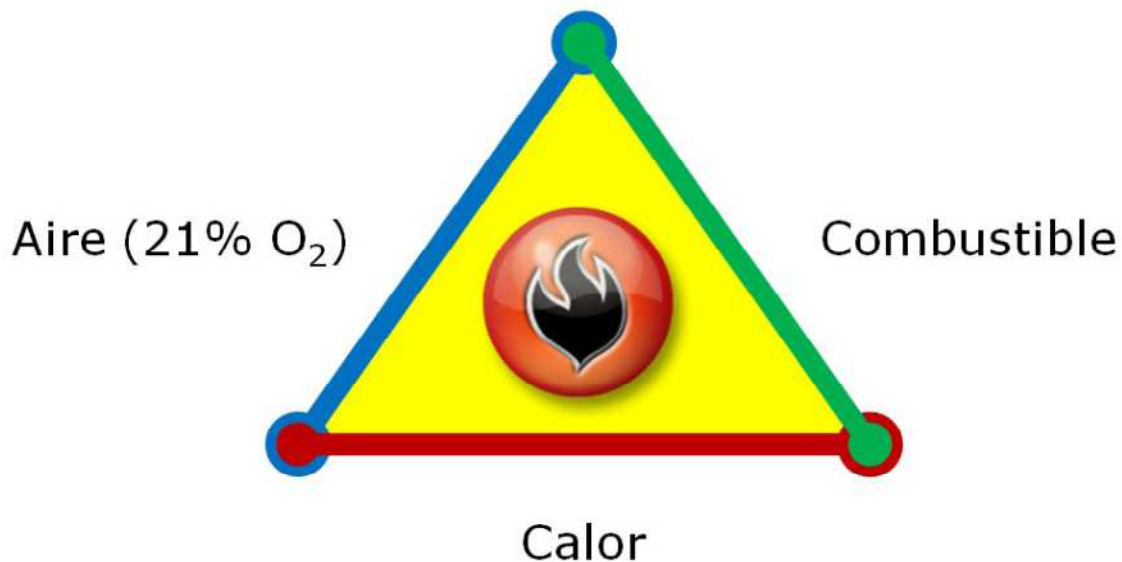
De acuerdo con esta "teoría" o mejor dicho, con esta representación del fuego, el fuego se extingue si se destruye el triángulo, eliminando o cortando algunos de sus lados. La teoría de la combustión en realidad nos indica que no es necesario eliminar o destruir los lados, sino, que alcanza con reducirlos, limitarlos o acortarlos.

Una llama de difusión puede extinguirse si el combustible se aísla del comburente (oxígeno), o sea, por medios físicos. El CO₂ es un ejemplo de agente que actúa fundamentalmente por su efecto bloqueador o sofocante.

Otro medio físico de extinguir un fuego lo provee el enfriamiento. Si la zona de la llama se enfría, la reacción que genera el calor pierde velocidad y puede llevarse hasta una condición tal que sea incapaz de generar suficiente calor como para mantenerse, lo cual produce la extinción.

Si se trata de un líquido en combustión, también el enfriamiento directo del líquido puede hacer disminuir su temperatura en grado suficiente como para que la producción de vapor disminuya, lo que trae como consecuencia una disminución de la velocidad de evaporación del líquido hacia la zona de la llama. Este es asimismo un ejemplo de extinción física.

No obstante ser el triángulo de fuego de indudable valor didáctico, con el mismo no podían explicarse completamente algunas de las observaciones hechas en la práctica diaria. Por lo tanto se estimó ampliar el modelo anterior incorporando un cuarto factor que contemplara la naturaleza química del fuego.



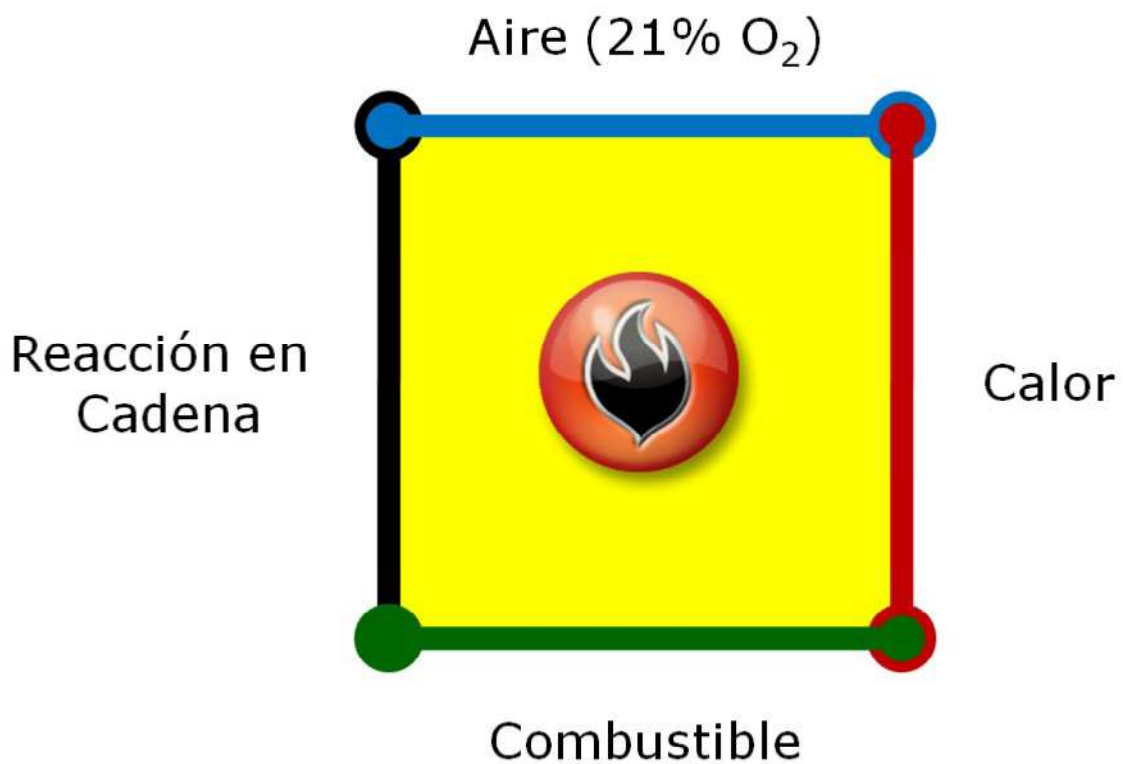
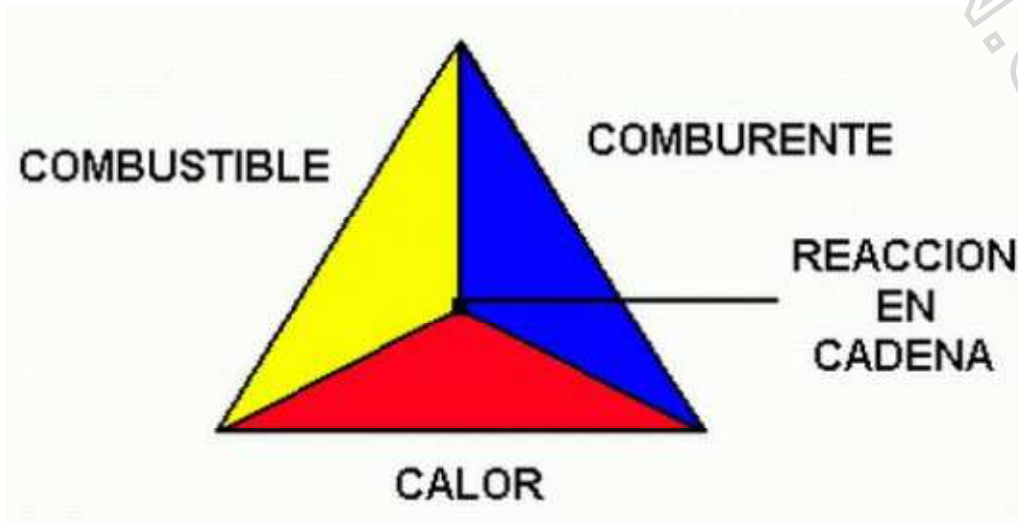
EL TETRAEDRO O CUADRILÁTERO DE FUEGO. LA TEORÍA MODERNA DE LA COMBUSTIÓN

En el año 1960 se propuso abandonar el popular concepto de triángulo de fuego cuyos tres lados: *calor, combustible y oxígeno*, prestó y presta excelente servicios como material didáctico utilizado para enseñar a combatir un fuego, y reemplazarlo por un tetraedro o cuadrilátero. El cuarto lado del cuadrilátero o la cuarta cara que aporta el tetraedro es "la reacción química en cadena".

Sin suprimir el combustible, ni el calor, ni el oxígeno, es posible controlar un fuego. ¿Cómo? ¿Por qué?

Había muchos fenómenos anómalos que no podían ser completamente explicados, como las observaciones de que, de los halógenos, el yodo es un agente extintor más eficaz que el bromo, que a su vez es más efectivo que el cloro. También se observó definitivamente que entre las sales metálicas alcalinas, las de potasio son más efectivas que las de sodio. Otras observaciones revelaron que ciertos combustibles queman a una velocidad mucho mayor cuando están sometidos a emanaciones radioactivas. La amplia gama de velocidades de llama entre los diferentes combustibles, que van desde los alquitranes que queman a una velocidad baja hasta la extraordinaria naturaleza explosiva de las reacciones de hidrógeno y oxígeno, presentan problemas adicionales. La variación de las energías mínimas de ignición, la existencia de llamas "frías", la sensibilidad de las llamas a ciertas vibraciones sónicas y supersónicas, la acción extintora de las ondas de detonación y la inhibición de las reacciones explosivas por la presencia de algunos polvos inorgánicos en un estado suficientemente denso de suspensión de aire, son todos asuntos de la mayor importancia que deben ser explicados por medio de un "cuarto factor".

Muchos investigadores han llegado a muchas conclusiones, algunas de común acuerdo, otras contradictorias. En general, se ha descubierto la existencia de una reacción en cadena, tanto ramificada como sin ramificar, las que pueden llamarse la "sangre de la vida" del fuego. Lo mismo que el cuerpo humano necesita aire, alimento, temperatura normal del cuerpo y un sistema circulatorio, así el fuego necesita aire, combustible, temperatura de llama adecuada y un sistema de reacciones en cadena sin impedimentos.



Por consiguiente se propone una nueva representación que comprenda las condiciones necesarias para tener fuego, en la forma de un tetraedro.

Como el tetraedro es también una construcción didáctica, se puede utilizar la figura de un cuadrado que es mucho más fácil de dibujar en plano y por consiguiente de visualizar. El objetivo didáctico queda igualmente cumplido: **el fuego se extingue si se destruye el cuadrado, eliminando o cortando algunos de sus lados.**

COMBUSTIBLE O AGENTE REDUCTOR

Un combustible es en sí un material que puede ser oxidado, por lo tanto en la terminología química es un agente reductor, puesto que reduce a un agente oxidante cediéndole electrones a este último.

Se denomina combustible a toda sustancia que es capaz de experimentar una reacción de combustión.

Como ejemplos podemos mencionar:

- Carbón.
- Monóxido de carbono.
- Muchos compuestos ricos en carbón e hidrógeno (Hidrocarburos).
- Elementos no metálicos fácilmente oxidables tales como el azufre y el fósforo.
- Sustancias celulósicas, como madera, textiles, papel.
- Metales como aluminio, magnesio, titanio, sodio, etc.
- Los metales alcalinos como el sodio, potasio, etc.
- Solventes orgánicos y alcoholes en general.

Como vemos los combustibles pueden estar en cualquier estado de agregación, sólido, líquido o gaseoso, pero debemos aclarar que lo que arde con llamas en los combustibles, son los vapores que ellos desprenden en el proceso de la combustión. Cuando una madera se enciende, son los vapores que ella genera los que entran en llama, y en este caso particular puede haber una superficie incandescente (brasa) además de llama.

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

COMBURENTE O AGENTE OXIDANTE

El comburente es un agente que puede oxidar a un combustible (agente reductor) y al hacer esto se reduce a sí mismo. En este proceso el agente oxidante obtiene electrones tomándolos de los combustibles. La importancia de este elemento se centra fundamentalmente en la violencia con que se produce la combustión. Algunos ejemplos son:

- Oxígeno y ozono (generalmente del aire).
- Peróxido de hidrógeno.
- Los halógenos tales como el flúor, cloro, bromo y yodo (disminuyen según lo ordenado).
- Ácidos nítrico y sulfúricos concentrados.
- Óxidos de metales pesados, particularmente de aquellos que tienen valencia alta, tales como el dióxido de manganeso, dióxido de plomo, etc.
- Nitratos clorados, perclorados y peróxidos.

Seguridad-Prevención de incendio

- Cromatos, dicromatos, permanganatos, hipocloritos e hipodromitos.

En una atmósfera pura de oxígeno se consigue hacer arder el hierro. Por el contrario si la concentración de oxígeno es muy baja el fuego no aumentará o incluso se extinguirá.

En condiciones normales la concentración de oxígeno en el aire es de un 21% pero cerca de depósitos de oxígeno o en almacenes donde existan botellas o botellones de oxígeno, en caso de fugas esta concentración puede aumentar y favorecer el inicio de un fuego.

Desde el punto de vista de incendio, el oxígeno del aire es el comburente principal, pues en casi todos los siniestros, el aire es el agente que alimenta el fuego.

A pesar de que el oxígeno representa un papel muy importante en la mayoría de los procesos de combustión, se destaca que ciertos metales como el *calcio* y *aluminio* por ejemplo, pueden quemar en una atmósfera de *nitrógeno* que ordinariamente es inerte. También el *óxido nítrico* alimenta la combustión del *fósforo*, del *carbón* y de muchos otros elementos.

El *polvo de magnesio* puede arder en una atmósfera de *anhídrido carbónico* (otro gas inerte usado en la extinción de incendios), del mismo modo los vapores de ácido nítrico hacen que un ovillo de lana se envuelva en llamas.

FUENTE DE CALOR Y FUENTE DE IGNICIÓN

El calor es un tipo de energía. Su contribución al inicio de un fuego es tan importante que se dice que todo fuego comienza por el calor.

A la fuente de calor y de ignición por lo general se la subestima en los procesos de prevención de incendios, pero sin embargo juega uno de los papeles más importantes si pensamos que normalmente las empresas tienen por razones de producción, mantenimiento o simplemente decoración, materiales combustibles por doquier, y que este material combustible está rodeado del mismo aire que respiramos, por consiguiente en esta situación sólo hace falta la presencia de una fuente de calor y de ignición en los momentos adecuados.

Recordemos que para que una combustión se inicie necesitamos que el combustible desprenda vapores, esto se consigue mediante el calor. Para que la mezcla de vapores combustibles y oxígeno comience a arder necesitamos una fuente de ignición que puede ser, un fuego, una chispa, un cigarrillo encendido, etc., es decir calor.

No hay que confundir entre *fente de calor* y *fente de ignición*, las funciones que cumplen ambas en el proceso de combustión son distintas e intervienen, además, en etapas diferentes del proceso; aunque una misma fuente pueda cumplir ambas funciones a la vez.

En ambos casos estamos hablando de elementos capaces de generar energía, que para el caso de una *fente de calor*, tendrá que ser la suficiente como por ejemplo para evaporar un líquido o pirolizar un sólido, mientras que si se trata de una *fente de ignición*, solo tendrá que tener energía suficiente para encender la mezcla de gases inflamables, y, por consiguiente, podrá ser de un valor energético mucho menor.

Para que un fuego se desencadene, el combustible ha de recibir calor para poder generar gases combustibles, y llegado el momento la mezcla inflamable necesitará de una fuente de ignición para encender. La mayoría de los edificios contienen de estos dos tipos de fuentes. Algunas son obvias, por ejemplo cerillas o cocinas; otras la son menos, por ejemplo determinados productos químicos de uso doméstico.

Desde un punto de vista práctico, estas fuentes pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Fuentes mecánicas.

- Energía solar.

Seguridad-Prevención de incendio

- Fuentes químicas.
- Combustión espontánea.
- Fuentes eléctricas.
- Contacto directo con gases calientes.
- Contacto directo con superficies incandescentes.
- Calentamiento gradual del combustible.
- Causas naturales.

La identificación de las distintas fuentes de ignición es fundamental para prevenir el comienzo de un fuego, además, que constituye uno de los cuatro objetivos básicos de la investigación.

Energía Mínima de Activación

Para que los vapores combustibles una vez mezclados con el oxígeno comiencen a arder se necesita una fuente de ignición que produzca una cantidad mínima de energía. A esta cantidad mínima de energía se la denomina energía mínima de activación.

Calor Generado Mecánicamente

El calor generado mecánicamente es el calor de fricción. Se genera cuando dos superficies rozan entre sí. Por ejemplo, al frotarse las manos éstas se calientan porque el rozamiento produce calor mecánico. La fricción, resistencia al movimiento, transforma la energía mecánica en energía calorífica. Dentro de este tipo de fuentes podemos citar:

- Amoladoras.
- Cierras circulares.
- El trabajo de los martillos metálicos sobre hormigón o acero.
- Lijadoras.
- Torneado de metales.
- Perforado de metales.
- Trabajos sobre metales en general.
- Todo elemento que genere chispa producto de golpes o rozamientos.

También dentro de este grupo podemos catalogar a las situaciones donde se producen chispas por impacto, como por ejemplo el uso de cortafrío, martillo, etc.

Energía Solar

Seguridad-Prevención de incendio

Sólo existe una fuente de calor de este tipo: el Sol. El calor radiante de los rayos solares puede concentrarse sobre materiales combustibles mediante una lupa, una botella, un vaso de agua, el cristal de una ventana y prácticamente a través de cualquier objeto transparente.

Con el tiempo, el material combustible se inflama. Por ejemplo, en unos días, la repisa de una ventana de madera puede pirolizarse por la luz del sol, concentrada mediante el cristal de la ventana, deformado o defectuoso. Este mismo calor solar puede llegar a inflamar los vapores emitidos por la repisa, causando fuego. Un material endeble, como una hoja de papel, puede arder, poco después de estar sometido a la energía solar concentrada. En el exterior, las hojas y hierbas secas, pueden prenderse si los rayos solares se concentran a través de un cristal roto o una botella abandonada.

Mientras estaba repasando y corrigiendo este material de clases, recibí a una de mis casillas de e-mail, este mensaje, que me pareció muy importante para concluir este punto; y el cual transcribo textualmente.

-----Mensaje Original-----

Fecha: Wed, 8 Jan 2003 16:01:18 -0500

De: "Didier Ferney Pedreros Vega" <d_pedreros@hotmail.com>

Asunto: La realidad de los incendios forestales.

Al respecto, una frase tomada textualmente:

"...Por lo que yo sé, en Chile no existen los incendios forestales de origen natural, es decir, causados por tormentas eléctricas y rayos. También por mucho tiempo, se ha admitido como posible explicación del origen de estos siniestros, los vidrios y las botellas, y en especial los fondos de las botellas abandonadas en el campo hacen de lupa, concentrando los rayos solares y comenzando así el incendio.

Hija, esta posible causa fue estudiada y desmentida en los Estados Unidos de una manera muy especial por una Universidad del Oeste, en dónde también se daban con frecuencia incendios forestales y se halló que de unas 5.000 pruebas que se hicieron (abandonando fondos de botellas en lugares donde con cierta facilidad pudieran haber provocado un incendio) ninguna generó un incendio real (Freixedo, 1989)."

Este texto tomado de la página 135 del libro "Bajo las Cenizas de la inconsciencia", de Herbert Haltenhoff Duarte, especialista en Control de Incendios Forestales de la Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF), hace referencia al libro hecho por Salvador Freixedo, denominado Defendámonos de los Dioses. Editado en Santiago de Chile por Ediciones Cerro Manquehue, dónde se concluye tal cosa.

En Colombia, así como en el resto de Latinoamérica, el 99% de los incendios son generados por el hombre...

Didier Pedreros.

Fundación para la Gestión del Riesgo.

Bogotá, Colombia.

Como se pudo apreciar en la lectura de este e-mail, la ocurrencia de incendios forestales por orígenes del famoso efecto lupa, es casi imposible o muy remoto y las más de 5.000 pruebas que se hicieron así lo demuestran; quienes fuimos alguna vez chicos y jugamos, supimos hacerlo con una lupa quemando hormigas, hojas, papeles y demás bichos y cosas que anduvieran a nuestro paso; el efecto lupa sigue y seguirá siendo un elemento a tener en cuenta en la prevención de incendios, aunque la probabilidad real de ocurrencia sea baja y muy remota.

Calor Generado Químicamente

En una reacción química se combinan (o reaccionan) dos o más sustancias para formar otras nuevas. Algunas reacciones químicas, para que tengan lugar, requieren

Seguridad-Prevención de incendio

aportación de calor (endotérmicas). Otras desprenden calor cuando tienen lugar (exotérmicas). En este caso, puede generarse calor suficiente para calentar o encender mezclas inflamables en su proximidad. Adicionalmente, si cualquiera de las sustancias originales o productos de la reacción son combustibles, también pueden resultar inflamados.

Combustión Espontánea

La combustión espontánea tiene origen en una coexistencia simultánea de agentes oxidantes y reductores en un medio térmicamente aislado que sirve para retardar la pérdida del calor de la reacción y favorece la elevación de temperatura la que, por medio de los bien conocidos axiomas químicos de que, las reacciones son dobladas en velocidad por la elevación de cada 5,6°C (18°F), aumenta el calor y la temperatura de una manera continuamente creciente hasta alcanzar suficiente intensidad para inflamar mayores cantidades de combustibles adyacentes, aumentando de esta manera los factores hasta llegar a las condiciones extremas de llama.

Una serie de materiales comunes están sujetos a combustión espontánea. Aceites naturales como los de vegetales y pescado (no los derivados del petróleo), algunos tipos de carbones vegetales y bituminosos, heno y forraje. Estos materiales reaccionan lentamente con el oxígeno o el agua, produciendo calor (la reacción es una combustión extremadamente lenta). Si la aportación de oxígeno no se limita, por ejemplo, almacenando el material en un contenedor metálico cerrado, y la zona no se ventila para eliminar el calor, se acumulará suficiente calor para inflamar el material.

Los trapos grasientos, situados en espacios abiertos y en calma, son particularmente propensos a la combustión espontánea; la grasa reacciona con el oxígeno generando calor, que termina por prender los trapos combustibles. El césped recién cortado, colocado en un contenedor en una zona caliente, emite suficiente calor para autoinflamarse (incluso el contenedor, si fuese de material combustible).

El heno que se embala y almacena antes de curar adecuadamente es propenso a la combustión espontánea. La reacción química se produce entre el heno y el agua que permanece en las balas. Si hay oxígeno suficiente, el calor producido por la reacción, inflamará el heno; posteriormente toda la pila de balas, e incluso el granero, pudiendo resultar afectados. Puede generarse suficiente calor en el interior de una pila de balas para causar la ignición, pero si están bien empaquetadas entre sí, podría mantenerse el oxígeno lejos del combustible. En el momento que se retiren unas cuantas balas de la pila, el oxígeno entra en contacto con las balas interiores, más calientes, y se produce la ignición. Ocasionalmente, al abrir bolsas de heno o algodón, se observa la parte central ennegrecida. Esto indica que el oxígeno disponible fue suficiente para provocar la ignición en la zona central caliente, pero no para sostener la combustión.

Sustancias Incompatibles

El aceite de pino y el blanqueador clorado seco son productos químicos muy comunes en el hogar. El primero se utiliza para desodorizar cuartos, sótanos, zonas reservadas a animales, etc. El segundo es un aditivo que se utiliza en el lavado de la ropa. En muchas casas, todos los productos de la limpieza se almacenan en el mismo sitio. Cuando los dos productos mencionados se mezclan, reaccionan espontáneamente. Se genera calor y cloro, un gas blanco, muy tóxico y altamente inflamable. El calor desprendido en la reacción es suficiente para inflamar el cloro, que arde con una llama roja.

Muchos de los productos químicos frecuentes en edificios comerciales e industriales reaccionan violentamente entre sí. El potasio y el sodio reaccionan con el agua,

Seguridad-Prevención de incendio

desprendiendo suficiente calor para provocar la autoignición. Un cierto número de polvos metálicos pueden prenderse en contacto con aire húmedo.

Los productos químicos disponibles se cuentan por miles y sus combinaciones por millones. Resulta imposible recordar todas las mezclas que pueden provocar fuegos o explosiones. En estos casos es necesario solicitar la asistencia de un especialista en químico.

Calor Generado Eléctricamente

El calor producido por cableado, aparatos y equipos eléctricos, provoca un gran número de fuegos. Sin embargo, en muchos otros casos se culpa, equivocadamente, a componentes eléctricos.

Dentro de los equipos a tener en cuenta podemos citar:

- Transformadores.
- Tableros eléctricos.
- Cables.
- Interruptores.
- Lámparas eléctricas.
- Cortos circuitos.

Motores eléctricos.

- Soldadoras eléctricas.
- Herramientas portátiles.
- Aparatos electrodomésticos.
- Resistencias.

El cableado eléctrico frecuentemente se ve envuelto en incendios, sobre todo porque abundan en la mayoría de los edificios. Cuando la fuente de energía es el cableado, el calor desprendido por los hilos conductores se transmite a través del aislamiento, inflamando combustibles próximos. Cuando un cableado se ve afectado por un fuego pero no constituye la fuente de calor, el fuego le ataca desde el exterior. Esta situación genera dos tipos de daños distintos.

Indicios de ataque por fuego: Cuando un cableado eléctrico resulta atacado por un fuego, el aislamiento se funde o se quema. Cuando se enfría, se endurece y se adhiere al hilo, de forma que éste no puede girarse en el interior. Cuando el aislamiento se quema, el hilo de cobre adelgaza. Esto se debe al calor y posterior alargamiento o a la flexión ocasionada por su propio peso. Si el fuego resulto particularmente intenso, pueden observarse bolitas de cobre sobre el cable. El cobre fluye a una temperatura próxima de 1.082 °C y forma bolitas al enfriarse.

Indicios de calentamiento interno: El cableado instalado cuidadosamente según las normas establecidas, desprende muy poco calor. No obstante, puede sobrecalentar y provocar un fuego si está dañado, sobrecargado, el tamaño del hilo o fusible utilizados no son los correctos o se produce un cortocircuito. Cuando un cableado resulta dañado

Seguridad-Prevención de incendio

por calentamiento interno, el aislamiento empieza a quemarse desde el interior. En este caso queda suelto y desliza en sentido axial sobre el hilo de cobre; en este caso pueden verse burbujas sobre el aislamiento. El intenso calor en el interior del cableado, provoca la formación de burbujas en el cobre. Estas dilatan y estallan, formando pequeñas bolitas de cobre que dejan perforaciones y puntos rugosos en el hilo conductor. Puede que los dos hilos se suelden entre sí. Los hilos de cobre que hayan perdido el aislamiento sufren cierta decoloración debido al calor. Esta varía de naranja al rojo, este último color indica la mayor generación de calor.

Otras Fuentes

- Instalaciones de gas como cocinas, calefones o calefactores.
- Calentadores de combustibles sólidos.
- Calentadores de gas.
- Calentadores de gasoil y kerosene.
- Calentadores de agua.

LA REACCIÓN EN CADENA

Entre el combustible (mejor dicho gases combustibles sin quemar) y el aire (21% de O₂) en sus estados primitivos y los productos de la combustión, hay, por decirlo de alguna manera, una serie de estados químicos intermedios. El combustible sólo puede ser combustionado cuando llegue a zonas propicias por su temperatura y disponibilidad de aire (oxígeno), pero antes de acercarse al momento culminante en que debe ser combustionado, sufre una serie de transformaciones químicas que lo ponen en condiciones óptimas para la combustión.

Entre las diferentes transformaciones que sufre el combustible antes de llegar al seno de la combustión, hay una que vale la pena tener en cuenta por su importancia.

En la proximidad del frente de llama el combustible y el comburente (oxígeno) se transforman en lo que se denomina *radicales libres*, éstos reaccionan entre sí, y a su vez, reaccionan con combustibles nuevos. Este mecanismo es el que se llama *reacción en cadena*.

Si alguien se dedicase a capturar estos radicales detrás del frente de llama (o en el mismo frente), no llegarían a la zona de combustión en cantidad suficiente como para que la combustión mantenga su ritmo. Es decir, no sería necesario capturarlos a todos sino a un número importante para controlar el fuego.

Se comprende, entonces, que si existe la posibilidad de inhibir por este mecanismo las reacciones en cadenas previas a la combustión habremos encontrado un recurso químico de extinción del fuego.

PARA ENTENDER LA COMBUSTIÓN

Desde el momento en que los seres humanos se dieron cuenta que tenían que quemar unas ramas para calentarse o para cocinar sus alimentos, el fuego pasó a ser imprescindible en sus vidas. Hoy más del 90% del calor y del poder que necesitamos, es generado por combustión, y prácticamente todo nuestro sistema de transporte depende de ello. Cada año, las estufas y los hornos del mundo consumen más de mil

Seguridad-Prevención de incendio

millones de toneladas de carbón. En el año 2000, sólo las líneas aéreas de Estados Unidos, quemaron cada día más de 250 millones de litros de kerosene de aviación. Pero las necesidades de satisfacer las demandas masivas de energía entran en conflicto con nuestra preocupación del medio ambiente. Es así como quemando combustible fósil se producen grandes cantidades de dióxido de carbono, el que incrementa el efecto global de calentamiento de la Tierra. También se liberan contaminantes peligrosos, como óxido de nitrógeno y hollín. Los científicos, para poner límite a estas emisiones, están tratando de comprender la complejidad de la combustión, para llegar a desarrollar nuevas tecnologías que aseguren un uso del combustible más limpio y más eficiente.

La combustión es un proceso químico que, para que ocurra, requiere de dos ingredientes básicos: un "combustible", como el gas, el petróleo o el carbón, y un "oxidador", generalmente oxígeno del aire. A ellos se agrega una pequeña cantidad de energía (como por ejemplo una llama o una chispa) y usted puede gatillar una "reacción exotérmica" (que libera calor), con lo que rápidamente se libera la energía atrapada en las uniones químicas del combustible.

Pero la combustión no es un proceso químico ordinario. Una vez que se inicia, "se mantiene a sí misma". Esto la distingue de la mayor parte de las reacciones químicas, y se debe principalmente al hecho de que parte de la energía liberada por la combustión, calienta el combustible a su alrededor. Este proceso de "feedback" incrementa el ritmo de la reacción y mantiene la combustión en marcha.

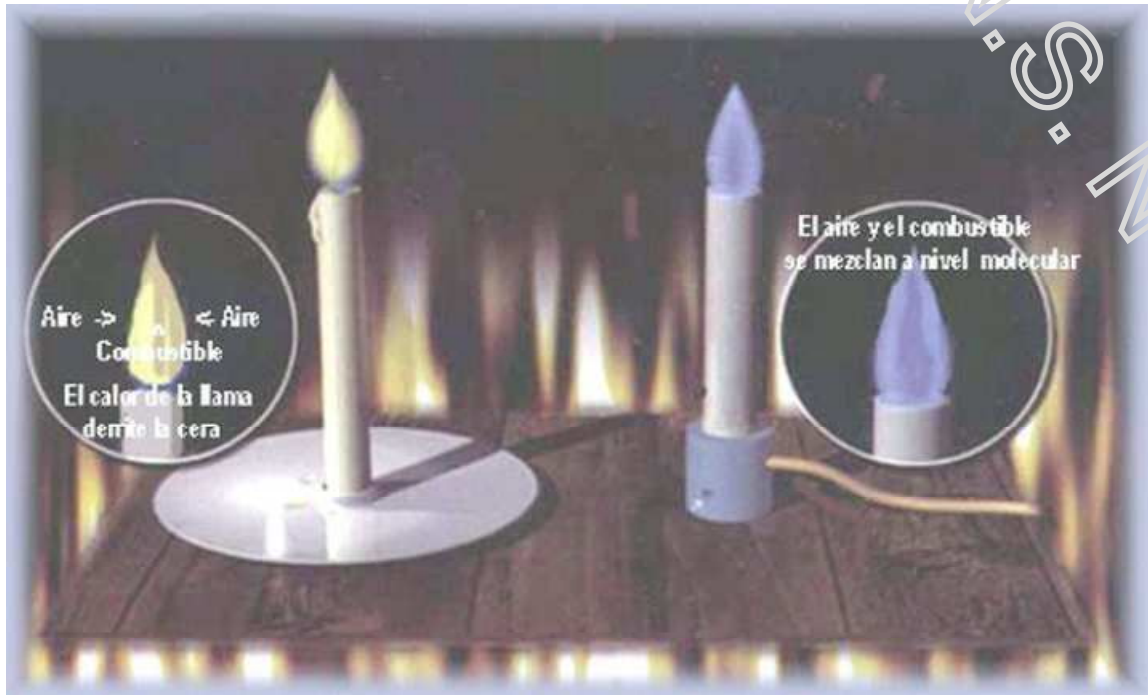
También, a diferencia de otras reacciones químicas, la reacción de combustión es visible, gracias al humo y las llamas. Las llamas se producen cuando una gran cantidad de energía liberada genera luz. El ejemplo más familiar de una llama, es probablemente la que se produce en una vela encendida. Esta clase de llama, se denomina "llama de difusión" porque el oxígeno del aire se debe difundir a través de la región de combustión, mientras el vapor del hidrocarburo tiene que difundir hacia fuera de la mecha.

A principio del siglo XIX, el científico inglés Michael Faraday, hizo uno de los primeros estudios detallados de la llama de la vela. Observó que el calor irradiado de la llama, fundía la cera, permitiendo que ésta, como un líquido empapara la mecha. Una vez dentro de la mecha, el calor vaporizaba la cera líquida. Aquí la temperatura de alrededor de 1000°C rápidamente descomponía la cera en fragmentos más pequeños y más reactivos.

Estos fragmentos comienzan a reaccionar con oxígeno, descomponiéndose cada vez a cadenas más y más pequeñas, generando gases, vapor de agua y pequeñas partículas sólidas, constituidas por carbón no quemado u hollín, al que llamamos "humo". En esta llama, el mayor ritmo de reacción, como también la zona de mayor calor y emisión de luz, ocurre cerca de la superficie externa de ella, ya que es allí donde el combustible hidrocarbonado se encuentra con el oxígeno.

Parte de la luz, principalmente la naranja y la amarilla, se produce por partículas de hollín incandescente que se generan durante la combustión. El área más roja, cerca del centro de la llama, alcanza una temperatura de 800°C. La región naranja y la amarilla, son más calientes que eso, alcanzando una temperatura sobre 1.400°C.

Seguridad-Prevención de incendio



demás, algunas de las moléculas creadas por la combustión, cuando se forman, ganan considerable energía. Esta energía es absorbida por sus electrones, que luego la remiten como fotones. El resultado es el color azul visto en la base de la llama de la vela, revelando que en esta región, el oxígeno se está mezclando con el combustible para causar una elevada reacción exotérmica.

Algunas de las formas de combustión más comúnmente usadas se basan en llamas de difusión, como las estaciones generadoras eléctricas que queman partículas de carbón pulverizado, o los motores diesel en los autos y camiones, que queman combustible dispersado como un spray de finas gotas. Este tipo de llama también se produce en la superficie de combustibles sólidos como el coque, la turba y la madera cuando se queman en estufas o en fogatas abiertas.

Con todo, las llamas de difusión no son muy eficientes en el uso del combustible. Para optimizar la eficiencia de la combustión, maximizando la liberación de calor, y manteniendo la producción de humo y contaminantes en un mínimo, deben previamente mezclarse el combustible con el oxígeno, antes que comience la combustión, a un nivel molecular.

A mediados del siglo XIX, un químico alemán llamado Robert Bunsen tuvo una idea para mejorar la eficiencia de la combustión. Se le ocurrió combinar un chorro de gas flamable con el aire, antes que se prendiera. El concepto fue concretado en el "Mechero Bunsen", que produce una llama extremadamente caliente. En la actualidad, la premezcla de aire dentro de un chorro de gas natural (que consiste principalmente de metano) es la mejor forma de lograr quemadores eficientes para las cocinas domésticas, sistemas de quemadores y hornos industriales.

La estructura de una "llama de pre-mezclado", es muy diferente de una llama de difusión. La zona de reacción principal y la región que quema azul más brillante, está dentro de la llama. La llama misma es cónica, ya que su forma está determinada por la moldura circular del quemador. La reacción de combustión se mantiene a sí misma debido tanto a la conducción del calor, como a la difusión de especies químicas

Seguridad-Prevención de incendio

reactivas como radicales libres, desde la llama en el interior de la mezcla más fría y el aire que circula hacia arriba. Ya que el combustible se quema más eficientemente en la llama de pre-mezcla, se forma menos hollín y produce muy poca incandescencia amarilla.

TIPOS DE FUEGO

Desde el punto de vista de la forma en que se exteriorizan, los fuegos pueden ser tipificados en dos grupos a saber:

1) De Superficie o Sin Llama :

Según lo implica su nombre, no es una combustión en el espacio, sino estrictamente una combustión de la superficie que tiene lugar a los mismos niveles de temperatura como si se tratara de llamas abiertas. Este tipo de fuego también recibe el nombre de brasa, superficie al rojo, incandescencia, rescoldo, etc., su característica fundamental es la ausencia de llamas. Así es como se quema un cigarrillo. Los muebles tapizados con relleno de borra de algodón o espuma de poliuretano pueden arder también de esta manera. Un montón grande de virutas, aserrín o carbón puede estar ardiendo así durante semanas o meses.

La combustión incandescente se limita generalmente a materiales porosos que pueden formar una escoria carbonosa al calentarse. El oxígeno del aire se propaga lentamente entre los poros del material y dentro del mismo se produce una zona de reacción brillante, aunque este brillo no se vea siempre desde el exterior. Estos materiales porosos son malos conductores del calor, de modo que aunque la reacción de combustión se produce lentamente, conservan suficiente calor en la zona de reacción para mantener la temperatura elevada necesaria para que la reacción continúe.

No es raro que, si un mueble tapizado se quema, se produzca una combustión incandescente que dure varias horas. Durante ese tiempo la zona de reacción se

Seguridad-Prevención de incendio

extiende sólo entre 5 y 10 cm desde el punto de ignición y después, de repente, el mueble se puede ver envuelto en llamas. La velocidad de la combustión a partir del momento en que se ha producido la llama es muy superior a la de la combustión incandescente.

Para su extinción se requieren agentes refrigerantes como por ejemplo agua, agua y aditivos humectantes, etc.

2) De Llama :

Son la evidencia directa de la combustión de gases o vapores de líquidos inflamables que a su vez pueden ser luminosos. Arden en toda la masa simultáneamente. Dado la alta velocidad de combustión que las caracteriza, por regla general requieren una extinción rápida y contundente.

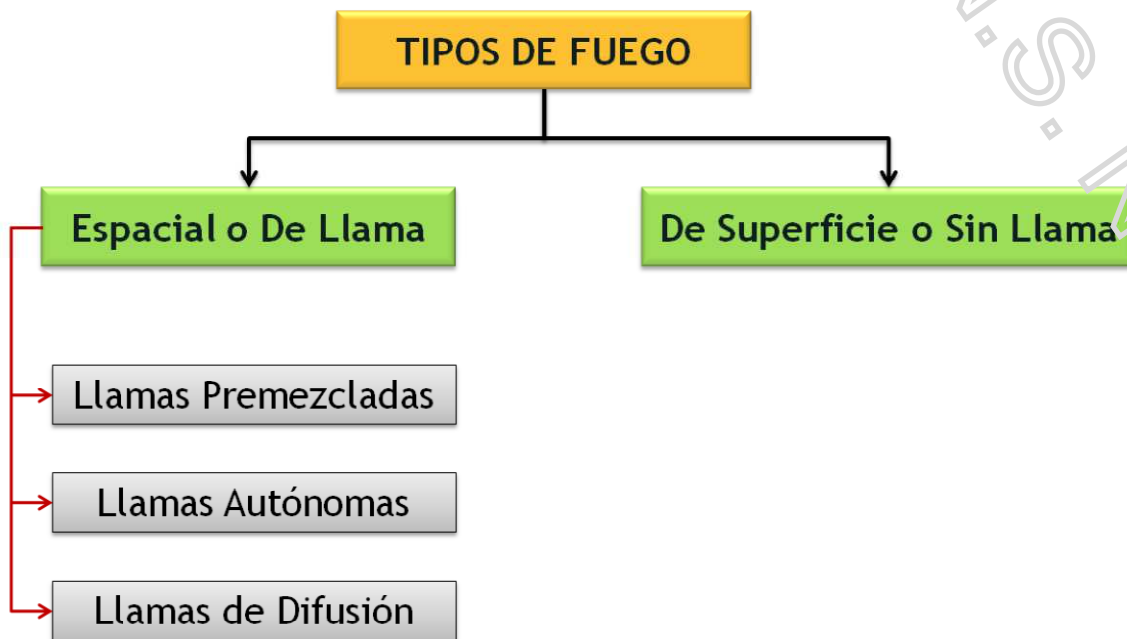
Las llamas a su vez pueden ser clasificadas según como obtengan al aire para la combustión de la siguiente manera:

Llamas Premezcladas: Son aquéllas en las que el combustible fluye con un adicional de aire (u oxígeno), como las que se obtienen en un soplete oxiacetilénico, quemadores de gas, estufas, etc.

El aire llega a la zona de la combustión mezclado junto con los gases combustibles, por consiguiente la llama no consume aire del exterior que la rodea, sino, de la que traen los gases combustibles.

Llamas Autónomas: En las que la descomposición de las moléculas del combustible suministran el oxígeno necesario para mantener la combustión por sí sola, por ejemplo la combustión de nitrocelulosa.

Llamas de Difusión: Según implica el término son obtenidos por gases o vapores que no han sido previamente mezcladas pero se queman en la medida que le aire que llega hace entrar a la mezcla en rango inflamable. En estos casos el oxígeno (aire) es un agente externo que difunde hacia la zona de llama. Este es el tipo de llama más común y la que se presenta en forma general en todos los incendios.



PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

La combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno. El aire es el comburente más usual.

Si se supone (caso más común) que la combustión se realiza con aire, la reacción química que se debe plantear es la del proceso por el cual el combustible reacciona con el aire para formar los productos correspondientes, es decir,

Combustible + Aire = Productos de la Combustión

Seguridad-Prevención de incendio

Como en toda reacción química, las sustancias reaccionantes (combustible y aire) en una combustión dan lugar a otras totalmente distintas.

El fuego emite cuatro importantes productos de la combustión, de entre ellas las más importantes son: el humo y los gases.

- Calor, generado por la reacción química.

- Llamas, formadas por vapores del combustible ardiendo y por partículas incandescentes del combustible.

- Humo, formado por diminutas partículas sólidas y vapor condensado. Estas partículas pueden ser de color, dimensiones o cantidad tales, que dificultan la visibilidad, impidiendo la identificación de las salidas o su señalización.

- Gases, productos invisibles de la combustión completa e incompleta. Los gases que se desprenden en una combustión son muy diversos dependiendo del material combustible. Los más comunes son el monóxido de carbono y el anhídrido carbónico

Sustancias más Comunes que se Pueden Encontrar en los Humos

| Fórmula Química | Nombre | Procedencia principal | Otras procedencias |
|------------------------|-------------------------------|--|--|
| CO ₂ | Dióxido de carbono | Combustión de sustancias que contienen C. | Componente no del combustible. |
| H ₂ O | Vapor de agua | Combustión de sustancias que contienen H ₂ . | Combustible húmedo. |
| N ₂ | Nitrógeno | Aire. | Componente no del combustible. |
| O ₂ | Oxígeno | Combustión realizada con aire en exceso. | Un gas combustible puede tener O ₂ en su composición. |
| CO | Monóxido de carbono | Combustión realizada con aire en defecto. | Un gas combustible puede tener CO en su composición. |
| H ₂ C | Hidrógeno Carbono (hollín) | Combustión realizada con aire en defecto. Combustión realizada con aire en defecto. | |
| SO ₂ | Dióxido de Azufre | Presencia de S en el combustible. | Un gas combustible puede tener SO ₂ en su |

Monóxido de Carbono

La gran mayoría de las muertes por incendios ocurren a causa del monóxido de carbono (CO) más que por cualquier otro producto tóxico de combustión. Este gas incoloro e inodoro está presente en cada incendio, y mientras más deficiente es la ventilación y más incompleta es la combustión más grande es la cantidad de monóxido de carbono formado. Un método empírico de determinación, aunque sujeto a mucha variación, es que mientras más oscuro es el humo más alto son los niveles de

Seguridad-Prevención de incendio

monóxido de carbono presentes. El humo negro tiene un alto contenido de partículas de carbono y monóxido de carbono a causa de la combustión incompleta.

Aunque el monóxido de carbono (CO) no es el más tóxico de los gases desprendidos en un incendio, sí es uno de los más abundantes y constituye la mayor amenaza en la mayoría de los fuegos. En condiciones de combustión controlada, el carbono de la mayoría de los compuestos orgánicos puede oxidarse totalmente si se suministra oxígeno suficiente. En las condiciones incontroladas de un fuego accidental, la disponibilidad de oxígeno no es siempre óptima y parte del carbono se transforma en monóxido por combustión incompleta. En un fuego confinado de rescoldos, la relación de monóxido de carbono (CO) respecto al anhídrido carbónico (CO₂) es mayor que un fuego con llamas y bien ventilado.

La toxicidad del CO se debe fundamentalmente a su afinidad con la hemoglobina de la sangre. La hemoglobina de la sangre se combina con el oxígeno y lo lleva a una combinación química denominada oxihemoglobina. Las características más significativas del monóxido de carbono son que el mismo se combina tan fácilmente con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno disponible es excluida. La combinación de la oxihemoglobina se convierte en una combinación más fuerte llamada carboxihemoglobina (COHb). En efecto, el monóxido de carbono se combina con la hemoglobina alrededor de 200 veces más fácilmente que al oxígeno. El monóxido de carbono actúa sobre el cuerpo, pero desplaza el oxígeno de la sangre y conduce a una eventual hipoxia del cerebro y tejidos, seguida por la muerte si el proceso no es invertido.

Las concentraciones de monóxido de carbono en el aire, superiores a 0,05%, pueden ser peligrosas. Cuando el nivel es mayor que el 1% no hay aviso sensorial a tiempo que permita escapar. A niveles más bajos hay dolor de cabeza y vértigo antes de la inhabilitación, de modo que es posible un aviso.

La combinación estable del monóxido de carbono con la sangre es eliminada sólo lentamente por la respiración normal. La aplicación de oxígeno puro es el elemento más importante dentro de la atención en primeros auxilios. Después de la convalecencia como consecuencia de una exposición severa, en cualquier ocasión pueden aparecer ciertas señales de lesión del cerebro o nervios, dentro de un lapso de aproximadamente tres semanas. De nuevo, ésta es una razón del por qué un bombero agotado, quien por lo demás se recupera rápidamente, no se le debe permitir que reingrese a una atmósfera humeante.

Efectos potenciales de la exposición al monóxido de carbono

| (CO) ppm | TIEMPO | EFFECTOS Y SÍNTOMAS |
|----------|--------|---------------------------------|
| 35 | 8 hs | Nivel permisible de exposición |
| 200 | 3 hs | Dolor de cabeza y leve malestar |
| 400 | 2 hs | Dolor de cabeza y |

Seguridad-Prevención de incendio

| | | |
|-------------|----------------|--|
| | | malestar |
| 600 | 1 hs | Dolor de cabeza y malestar confusión, |
| 1.000/2.000 | 2 hs | Dolor de cabeza y nauseas |
| 1.000/2.000 | 1/2 - 1 hs | Tendencia a la incoordinación de movimientos |
| 1.000/2.000 | 30 min | Moderada palpitación del corazón y somnolencia |
| 2.000/2.500 | 30 min | Inconsciencia |
| 4.000 | Menos de 1 min | Muerte |

Estos valores son aproximados y varían de acuerdo al estado de salud y actividad física del trabajador

Anhídrido Carbónico

El dióxido de carbono (CO₂) debe ser tomado en cuenta debido a que es uno de los resultantes de la combustión completa de materiales carboníferos. El dióxido de carbono es incoloro, inodoro y no inflamable. Los incendios que ardan libremente deben formar generalmente más dióxido de carbono que los incendios que arden lentamente sin llama. Naturalmente su presencia en el aire y el intercambio desde el torrente sanguíneo hacia el interior de los pulmones estimula el centro respiratorio del cerebro. El aire normalmente contiene alrededor de 0,03% de dióxido de carbono. A una concentración de 5% en el aire, hay un notable incremento en la respiración, acompañado de dolor de cabeza, vértigo, transpiración, excitación mental. Las concentraciones de 10 a 12% causan la muerte casi a unos pocos minutos por parálisis del centro respiratorio cerebral. Desdichadamente, al incrementar la respiración aumenta la inhalación de otros gases tóxicos. A medida que el gas aumenta, la función respiratoria inicialmente estimulada disminuye antes que ocurra la parálisis total.

Los incendios producen generalmente anhídrido carbónico (CO₂) en grandes cantidades. Aunque no es especialmente tóxico en los niveles observados, concentraciones moderadas de CO₂ aumentan el ritmo e intensidad de respiración, incrementando el RMV. Esto contribuye al riesgo de las atmósferas que contienen gases de la combustión, porque se acelera la inhalación de compuestos tóxicos e irritantes. Por cada 2% de CO₂ el ritmo de la respiración se incremento en un 50%. Si se aspira un 4% de CO₂, se duplica aproximadamente el RMV, aunque los efectos difícilmente se notan. Desde el 4% al 10% de CO₂, el RMV puede llegar a ser de 8 a 10 veces el nivel de descanso inicial. A estos niveles se experimentan síntomas de mareo, desfallecimiento y dolor de cabeza.

Oxígeno Insuficiente

El aire contiene aproximadamente un 21% de oxígeno al nivel del mar. Los peligros con el oxígeno se presentan cuando está en defecto o en exceso.

- El oxígeno puede ser consumido por la combustión, oxidación y otros procesos naturales o artificiales.

- El oxígeno puede ser desplazado por otros gases o vapores.

Seguridad-Prevención de incendio

- Las altas y bajas concentraciones de oxígeno pueden afectar las mediciones de inflamabilidad.
- La falta de oxígeno puede causar la muerte o daños cerebrales.
- La deficiencia de oxígeno inicialmente puede producir sensación de felicidad o bienestar (euforia) y la persona olvida que se encuentra en "PELIGRO"

Efectos potenciales de atmósferas con deficiencia de oxígeno

| % por volumen | Efectos y síntomas a presión atmosférica |
|---------------|--|
| 19,5 % | Nivel mínimo permisible de oxígeno |
| 15 - 19 % | Decrece la habilidad para trabajar arduamente |
| 12 - 14 % | La respiración aumenta con el trabajo, se acelera el pulso y se afecta la coordinación, percepción o juicio. |
| 10 - 12 % | Incrementa la tasa de respiración, juicio pobre y labios azules (cianosis). |
| 8 - 10 % | Pérdida mental, desmayo, pérdida del conocimiento, rostro pálido y labios azules |
| 6 - 8 % | 8 minutos 100% fatal, 6 minutos 50% fatal, 4-5 minutos se recupera con tratamiento. |
| 4 - 6 % | Coma en 40 segundos, convulsiones, cesa la respiración y sobreviene la muerte. |

Estos valores son aproximados y varían de acuerdo al estado de salud y actividad física del trabajador

Humo Visible

Además de los gases de la combustión, el humo se compone de partículas finamente divididas y líquido atomizado, conocido como aerosol. Esta materia carbonosa se genera al arder en condiciones de combustión incompleta la mayor parte de los materiales. Dado que el tamaño medio de las partículas y aerosoles es aproximadamente igual a la longitud de onda de la luz visible, se produce dispersión de la luz y se oscurece la visión a través del humo. Los productos derivados del petróleo, especialmente los hidrocarburos aromáticos, generan un humo negro con mucho hollín. No obstante, no existe relación entre el color del humo y la toxicidad de los gases presentes.

Dado que el humo oscurece el paso de la luz, dificulta la visibilidad de las salidas. La producción de cantidad de humo suficiente para dificultar la salida puede ser muy rápida y normalmente es el primer riesgo que se presenta en un incendio. Según demuestran casi todas las pruebas de incendios escolares realizadas en Los Angeles, el humo en los pasillos, procedente de fuegos en sótanos, alcanzó niveles insoportables antes de que la temperatura fuese peligrosa. En los ensayos, el humo constituyó el mayor riesgo, debido a la falta de visibilidad. Aunque frecuentemente el humo proporciona una rápida alarma, hace cundir el pánico al impedir la visión y producir efectos irritantes.

Seguridad-Prevención de incendio

Las partículas y los aerosoles aspirados pueden ser nocivos y la exposición prolongada puede afectar al sistema respiratorio. A veces las partículas son tan pequeñas que penetran hasta los pulmones, dañándolos. Estos efectos todavía no se han analizado en profundidad para determinar totalmente sus consecuencias.

Calor

La combustión de la mayoría de los materiales es una reacción exotérmica de oxidación química. La energía generada se emite en forma de calor, por convección (gases calientes) y radiación. Esta última representa la energía liberada en las zonas visibles e infrarrojo del espectro, que se manifiesta como llamas o luminosidad de un fuego.

El calor representa un peligro físico para las personas. Si la energía calorífica total que incide sobre el cuerpo supera la capacidad de defensa del mismo, provoca desde lesiones leves hasta la muerte. Las consecuencias de la exposición al aire caliente se ven amplificadas si la atmósfera del fuego contiene humedad. A mayor contenido, mejora la eficiencia de transmisión de calor y el cuerpo pierde facultades para liberarse de la carga calorífica. El entorno del incendio puede contener humedad como consecuencia de las condiciones climatológicas, de la propia combustión y de la aplicación de agua para la extinción.

Si un exceso de calor alcanza rápidamente los pulmones, puede producir una drástica caída de la presión sanguínea, junto con el colapso de vasos sanguíneos, que conduzcan a un fallo circulatorio. Asimismo, el calor intenso puede originar la acumulación de fluido en los pulmones. Los ensayos realizados por el National Research Council de Canadá (NRCC) revelaron que 140°C es la máxima temperatura del aire respirado, que permite sobrevivir. Una temperatura de esta magnitud sólo puede tolerarse durante un breve período de tiempo y en ningún caso con presencia de humedad.

Según estudios realizados, si la temperatura superficial de la piel alcanza un valor de 71°C, manteniéndose durante un minuto, se producirán quemaduras de segundo grado. A medida que aumenta la temperatura de la piel, disminuye el tiempo necesario para producir quemaduras de segundo grado. Por ejemplo, a 82°C bastan 30 segundos para producirlas y a 100°C sólo 15 segundos.

Para que aumente la temperatura superficial, la piel humana tiene que absorber calor suficiente para anular las defensas de que dispone el cuerpo para disipar el calor. El mecanismo de disipación actúa mediante enfriamiento por evaporación (transpiración) y por circulación de la sangre. La evaporación de la humedad de la piel puede contrarrestar el efecto del calor sobre ella hasta 60°C o más, en aire seco. Este valor es más bajo en aire húmedo.

La exposición a un exceso de calor puede originar la muerte por hipertermia sin producir quemaduras. La hipertemia acontece cuando el cuerpo absorbe calor con mayor rapidez que lo que elimina por evaporación de la humedad superficial y por radiación. Entonces se eleva la temperatura de todo el cuerpo, hasta un nivel bastante superior al normal originando lesiones y, posiblemente, la muerte.

FORMAS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR

El calor se transmite desde el fuego a los combustibles por cuatro medios:

- Convección.
- Conducción.
- Radiación.

Seguridad-Prevención de incendio

- Contacto directo.

1) Convección

Transmisión del calor a través del movimiento del humo, gases, aire y partículas calientes. El humo y los gases calientes tienden a subir desde el lugar del incendio. El aire cercano al fuego se calienta y también sube (al ser más ligero que las capas superiores más frías). Al ascender el aire, el humo y los gases transportan ascuas y partículas calientes lejos del incendio. A medida que estos gases y sólidos calientes se alejan, el aire más frío se mueve hacia el fuego. Esto genera corrientes que aceleran el proceso de convección que, a su vez, se va acelerando al aumentar la velocidad de combustión.

Si el desplazamiento vertical de las corrientes calientes de convección se ve frenado, por ejemplo por un techo, los gases y partículas se desplazan horizontalmente y a través de cualquier abertura. En cuanto puedan subir volverán a moverse en sentido vertical.

Los gases y partículas en movimiento dejan un rastro claro y definido en las paredes, techos y enseres del edificio. Debido a que estos productos de la combustión suben alejándose del fuego, la huella en las paredes tiende a asemejarse a una amplia "V" comenzando en el punto de origen del incendio. Las zonas bajas de las paredes y enseres pueden permanecer indemnes, mientras que la parte alta de las paredes y el techo se tiznan claramente por el humo y se carbonizan.

Las partículas y ascuas calientes pueden ser transportadas a cierta distancia por el humo y los gases. Si posteriormente caen sobre materiales combustibles, pueden ocasionar fuegos colaterales. Dicho fuego ocasionado por "ignición remota", crecerá en grandes proporciones si no se extingue con rapidez. Producirá entonces un punto de origen muy similar al inicial.

2) Conducción

Es la transmisión de calor a través de un sólido. Los objetos metálicos, tales como vigas, columnas, tuberías, clavos y cables son excelentes conductores del calor. De forma desagradable, mucha gente lo ha descubierto al agarrar por un extremo un objeto metálico al que se le había aplicado calor en el otro. De igual manera el calor puede ser conducido de una habitación ardiendo a otra adyacente a través de una tubería de metal. Combustibles presentes en la habitación adyacente pueden inflamarse, a pesar de que las dos habitaciones parecían aisladas entre sí.

La madera no es buen conductor del calor. Sin embargo, si está en contacto con un objeto o superficie caliente puede *pirolizarse* (se descompone emitiendo vapores) después de un tiempo. El calor de la superficie u objeto resulta entonces suficiente para inflamarla y generar llamas. Esta pirólisis y posterior ignición puede producirse de forma mucho más rápida cuando el calor de un fuego se transmite al objeto de madera a través de una tubería o viga metálica.

El fuego que se propaga por conducción no deja huellas que pueda detectar un investigador. Sin embargo, es el propio conductor el que llevará al investigador hasta el punto de origen del fuego inicial.

3) Radiación

Es la transmisión de calor a través de ondas invisibles que se propagan por el espacio al igual que la luz.

La radiación es una forma de energía que se desplaza a través del espacio o de los materiales en forma de ondas electromagnéticas, como la luz, las ondas de radio o los rayos X. Todas las ondas de la energía radiante circulan en el vacío a la velocidad de la

Seguridad-Prevención de incendio

luz. Al tropezar con un cuerpo, son absorbidas, reflejadas o transmitidas. La luz visible abarca longitudes de onda entre $0,4 \times 10^{-6}$ hasta $0,7 \times 10^{-6}$ (violeta a rojo). Las emisiones resultantes de un proceso de combustión ocupan principalmente la región del infrarrojo (longitudes de onda superiores a la longitud de onda del rojo). Nuestros ojos ven solamente una fracción mínima emitida en la región visible. una fracción mínima emitida en la región visible.

Cuando dos cuerpos se sitúan frente a frente y uno tiene mayor temperatura que el otro, la energía radiante pasará del más caliente al más frío hasta que los dos alcancen la misma temperatura. La capacidad de absorber calor radiado está en función de la clase de superficie del cuerpo más caliente. Si la superficie receptora es brillante o pulida, reflejará la mayor parte del calor radiante: si es negra u oscura, absorberá la mayor parte del calor. La mayoría de los materiales que no son metálicos, en la práctica, resultan negros a las radiaciones infrarrojas, aunque sometidos a las radiaciones visibles parezcan claros o coloreados. Algunas sustancias como el agua o el vidrio, son transparentes a la radiación visible y permiten su paso; sin embargo, tanto el agua líquida como el vidrio son opacos para la mayor parte de las longitudes de onda infrarrojas. Los materiales metálicos brillantes son reflectores excelentes de la energía radiante.

La ignición por radiación enfrenta al investigador con un problema puesto que no existe contacto visible entre la fuente calorífica y el combustible. No obstante, ha de existir una trayectoria vista entre la fuente de radiación y el material que se inflama.

4) Contacto Directo

El calor se transmite por contacto directo cuando una llama o ascua alcanza un objeto. Si el contacto se mantiene durante suficiente tiempo, el objeto puede arder. Ya se ha mencionado que por corrientes de convección pueden transportarse ascuas. Llamas producidas por cerillas causan ignición por contacto directo. Las llamas procedentes de una butaca ardiendo que alcancen cortinas transmiten calor por contacto directo.

El trayecto recorrido por el fuego, generalmente indica si se ha propagado por contacto directo de las llamas.

Aunque la propagación del fuego desde la butaca a la pared fue por contacto directo, el "eslabón" entre los dos ya no está en su sitio. El investigador ha de ser capaz de reconstruir lo que sucedió partiendo del fuego en el suelo y del hecho de que faltan las cortinas.

3) Descendente

Fundamentalmente, el fuego desciende cuando caen materiales ardiendo desde una zona superior a un nivel inferior. Esto suele ocurrir en edificios con estructura de globo. Las ascuas de un fuego declarado en el ático pueden caer hasta la zona de cimentación inflamando combustible en este nivel. También puede descender el fuego a través de recubrimientos de paredes, tales como barnices, pintura, papel y paneles inflamables. Sin embargo, este proceso es muy lento y sólo justifica una propagación poco importante. El soplador de un sistema forzado de calefacción o aire acondicionado puede propagar un fuego a través de las conducciones. En realidad cualquier pozo vertical constituye una vía por la que pueden descender ascuas ardiendo y provocar otro incendio.

El fuego sigue la trayectoria de los líquidos inflamables que descienden por superficies inclinadas. Por ejemplo, se derrama gasolina y se prende en el escalón superior, el fuego bajará la escalera a medida que consume vapores. Finalmente retrocede

Seguridad-Prevención de incendio

ascendiendo las escaleras al consumirse el líquido inflamable y los materiales circundantes comienzan a

MODOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO

Un fuego se propaga desde el punto de origen si existe suficiente combustible y oxígeno. La propagación se produce mediante un simple mecanismo; la transmisión del calor a los combustibles del lugar. Por el camino que sigue el fuego y las señales que deja detrás de sí, el investigador determina si la propagación fue natural o bien hubo intervención humana.

1) Vertical

El fuego se propaga mediante la transmisión de calor y el aire, humo y gases calientes tienden a subir. Por tanto, un fuego se propaga en sentido ascendente cuando se lo permiten las características constructivas del edificio. Los huecos de escaleras, ascensores y conducciones y los espacios entre paredes interiores y exteriores proporcionan un paso vertical para la ascensión de los productos de la combustión.

Los materiales inflamables que se encuentran en las cercanías del trayecto resultarán afectados si los productos de la combustión están lo suficientemente calientes para causar la vaporización de estos combustibles e inflamar sus vapores.

Cuando se impide el movimiento ascendente de los productos de la combustión, por ejemplo, por un techo, éstos se dispersan en todas las direcciones. Se desplazan entonces lateralmente a la altura del techo hasta encontrar otros obstáculos, tal como una pared. Si no hay aberturas en ésta, los productos de la combustión se acumulan hasta que son forzados a bajar a lo largo de la pared. Este movimiento lateral y descendente se conoce con el nombre de *hongo*. Deja manchas de humo claramente definidas en las paredes. Si los productos de la combustión estuviesen lo suficientemente calientes para inflamar los materiales del techo y paredes, también habrá evidencia de fuego.

2) Horizontal

Si en el desplazamiento lateral de los productos de la combustión se encuentra una abertura penetrarán en zonas no afectadas por el incendio. Entonces subirán si ello es posible o se moverán horizontalmente si no existiese ningún camino ascendente. Nuevamente, los materiales combustibles que se encuentran en la trayectoria se inflamarán y el fuego continuará propagándose. De esta forma, un fuego puede desplazarse horizontalmente, pegado al techo, a través de un largo pasillo sin afectar prácticamente a las paredes.

Zonas abiertas y de gran tamaño, como de iglesias y supermercados, permiten que el fuego se propague rápidamente, pegado al nivel del techo. Gases muy calientes se acumulan en las zonas superiores del edificio. Cuando se alcanzan condiciones apropiadas, se inflaman. Las llamas atraviesan el área rápidamente y pueden afectar a toda la estructura en cuestión de minutos.

3) Descendente

Fundamentalmente, el fuego desciende cuando caen materiales ardiendo desde una zona superior a un nivel inferior. Esto suele ocurrir en edificios con estructura de globo. Las ascuas de un fuego declarado en el ático pueden caer hasta la zona de cimentación

Seguridad-Prevención de incendio

inflamando combustible en este nivel. También puede descender el fuego a través de recubrimientos de paredes, tales como barnices, pintura, papel y paneles inflamables. Sin embargo, este proceso es muy lento y sólo justifica una propagación poco importante. El soplador de un sistema forzado de calefacción o aire acondicionado puede propagar un fuego a través de las conducciones. En realidad cualquier pozo vertical constituye una vía por la que pueden descender ascuas ardiendo y provocar otro incendio.

El fuego sigue la trayectoria de los líquidos inflamables que descienden por superficies inclinadas. Por ejemplo, se derrama gasolina y se prende en el escalón superior, el fuego bajará la escalera a medida que consume vapores. Finalmente retrocede ascendiendo las escaleras al consumirse el líquido inflamable y los materiales circundantes comienzan a evaporizarse.

CLASIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES

Esta es la llamada Clasificación Universal (y es la adoptada en nuestro país).

CLASE A: Fuegos que se desarrollan sobre combustibles sólidos.

Ejemplo: madera, tela, carbón, goma, papel, plástico termoendurecibles, etc.

CLASE B: Fuegos sobre líquidos inflamables o gases.

Ejemplo: pinturas, ceras, grasas, alcohol, parafinas, gasolina, asfalto, aceite, plásticos termofusibles; acetileno, metano, propano, butano, gas natural.

CLASE C: Fuegos sobre materiales, instalaciones o equipos sometidos a la acción de la corriente eléctrica.

CLASE D: Fuego sobre metales combustibles.

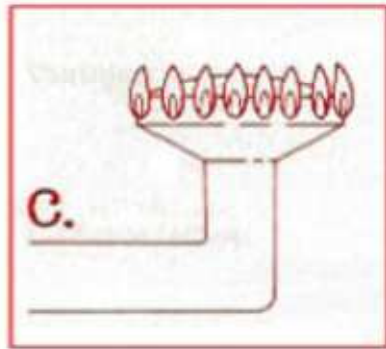
Ejemplo: aluminio, magnesio, titanio, potasio, plutonio, sodio, circonio, uranio



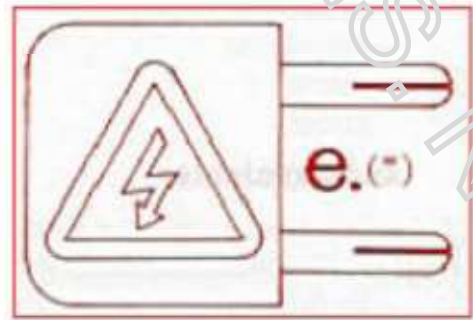
Fuegos de materiales sólidos cuya combustión se produce con formación de brasa.



Fuegos de materiales líquidos o de sólidos que por la acción del calor puedan pasar al estado líquido.



Fuegos de gases inflamables



Fuegos eléctricos

D



Fuegos de metales

ANEXOS

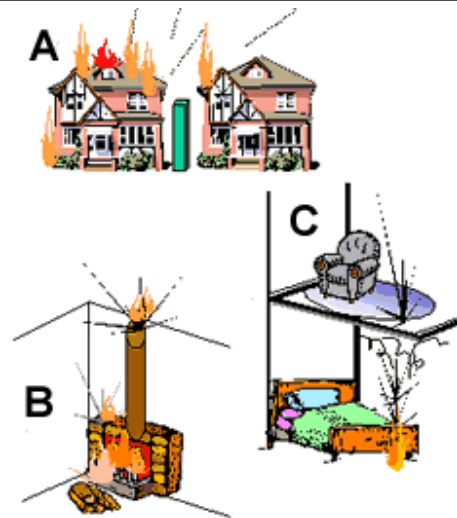
TRANSFERENCIA DE CALOR

TRANSFERENCIA DE CALOR : transferencia de energía calórica de un cuerpo a otro. Sólo se produce transferencia de calor cuando existe diferencia de temperatura, y toda transferencia cesa cuando las temperaturas se igualan. El calor se transfiere de tres formas.

A) Radiación: El calor se transfiere a través del espacio por ondas calóricas que viajan en línea recta en todas direcciones.

B) Conducción: El calor se transfiere por contacto directo entre un cuerpo a otro.

C) Convección: El calor se transfiere por líquidos y gases calentados que al ser más liviano que el aire tienden a elevarse.



MÉTODOS DE EXTINCIÓN

A) ENFRIAMIENTO: Con este método se logra reducir la temperatura de los combustibles para romper el equilibrio térmico y así lograr disminuir el calor y por consiguiente la extinción.




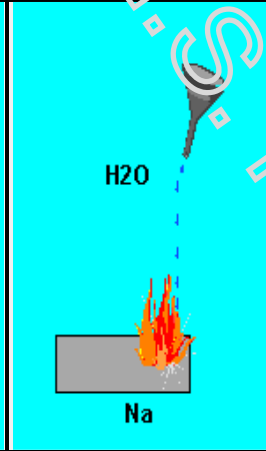


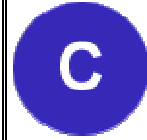

B) SOFOCACIÓN: esta técnica consiste en desplazar el oxígeno presente en la combustión, tapando el fuego por completo, evitando su contacto con el oxígeno del aire.

C) SEGREGACIÓN: Consiste en eliminar o asilar el material combustible que se quema, usando dispositivos de corte de flujo o barreras de aislación, ya que de esta forma el fuego no encontrara más elementos con que mantenerse.

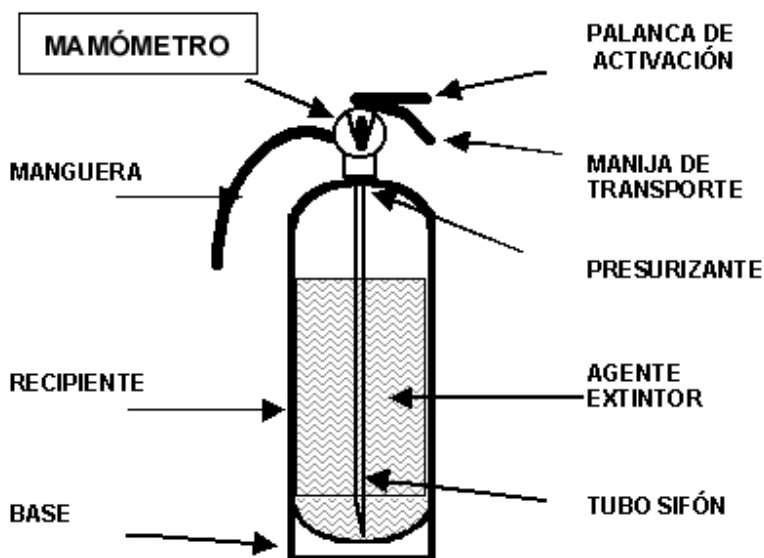
D) INHIBICIÓN: Esta técnica consiste en interferir la reacción química del fuego, mediante un agente extintor como son el polvo químico seco y el anhídrido carbónico.

CLASIFICACIÓN DE LOS FUEGOS

Seguridad-Prevención de incendio

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| SÓLIDOS COMUNES | LÍQUIDOS Y INFLAMABLES | GASES ELÉCTRICOS ENERGIZADOS | METALES COMBUSTIBLES |





EXTINTORES



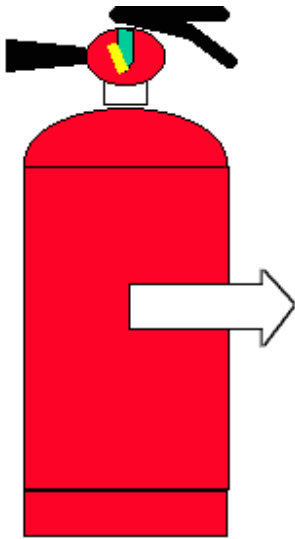
- Los extintores se ubicarán en sitios de fácil acceso y clara identificación, libres de cualquier obstáculo y estarán en condiciones de funcionamiento máximo. Se colocarán a una altura máxima de 1.30 metros, medidos desde el suelo hasta la base del extintor.
- Todo el personal que se desempeña en un lugar de trabajo deberá ser instruido y entrenado, de la manera correcta de usar los extintores en caso de emergencia.
- Los extintores que están situados en la interperie, deberán colocarse en un nicho o gabinete que permita el retiro expedito.

| | |
|----------------------|-----------------------------|
| TIPO DE FUEGO | AGENTES DE EXTINCIÓN |
|----------------------|-----------------------------|

Seguridad-Prevención de incendio

| | |
|---|--|
|  | Agua Presurizada, Espuma, Polvo químico seco ABC |
|  | Espuma, Dióxido de carbono (CO ₂), Polvo Químico seco ABC - BC |
|  | Dióxido de carbono (CO ₂), Polvo Químico seco ABC - BC |
|  | Polvo Químico especial |

SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN



EXTINTOR A BASE DE:

POLVO QUIMICO SECO

MULTIPROPÓSITO

EXTINTOR FUEGOS (S) CLASE A B C



INSTRUCCIONES DE USO

SOSTENER VERTICALMENTE Y TIRAR EL PASADOR DEL ANILLO

APRETAR LA PALANCA

DIRIGIR EL CHORRO A LA BASE DEL FUEGO

FABRICADO POR:

MANTENCIÓN

- INSPECCIÓN PERIÓDICA.
- RECARGAR DESPUÉS DE SER UTILIZADO.
- EL EXTINTOR DEBE ESTAR EN UN LUGAR INDICADO, VISIBLE Y FÁCIL ACCESO (No esta Obstruido).
- MANÓMETRO INDIQUE BUENA PRESIÓN.
- VERIFICAR LA TARJETA DE MANTENIMIENTO.

QUE EL EXTINTOR NO HAYA SIDO: ACTIVADO, MANIPULADO Y QUE NO PRESENTE NINGÚN TIPO DE DETERIORO.