

TEORÍA MODERNA DE LA COMBUSTIÓN

TETRAEDRO DEL FUEGO

El tetraedro del fuego viene a formar parte de la teoría moderna de la combustión, la cual se consolida en 1962 cuando el Sr. Walter Haesler adelanta estudios sobre los mecanismos de extinción de incendios con el polvo químico seco de uso múltiple ABC.

En todo proceso de combustión hay liberación de energía, representada por una serie de reacciones entre los radicales libres O (oxígeno), C (carbono), H (hidrógeno) y OH (Oxidrilo), estas reacciones en cadena tanto ramificadas como no ramificadas pueden llamarse la vida del fuego y materialmente están representadas por la llama. Lo mismo que el cuerpo humano necesita aire, alimentos, temperatura, ambiente y un sistema circulatorio, el fuego necesita aire, combustible, fuente de calor y las reacciones en cadena para poder existir, de tal manera que el fuego según la teoría moderna de la combustión tiene cuatro elementos los cuales forman el tetraedro del fuego.

TETRAEDRO DEL FUEGO

La razón para usar un tetraedro y no un cuadrado es que cada uno de los cuatro elementos está adyacente y en conexión con cada uno de los tres elementos. Al retirar uno o más de los cuatro elementos del tetraedro hará que el fuego quede extinguido.

Reacción en Cadena: Es la disociación del combustible en partículas más sencillas. El hidrógeno (H), el oxígeno (O), el carbono (C) y el radical hidróxido (OH) son fragmentos moleculares llamados radicales libres, portadores de la cadena, y cuyo intercambio energético al desprenderse produce la reacción en cadena.

El proceso de combustión puede ocurrir de dos formas: con llama (incluyendo explosión) y sin llama (incluyendo incandescencia y brasas incandescentes asentadas en el fondo). El modo de llama se caracteriza por índices de combustión más o menos alto. En general, este modo se asocia con niveles de calor altos e intensos.

Los modos con llama o sin llama no son mutuamente excluyentes; la combustión puede involucrar uno o ambos modos. A menudo, la combustión puede presentarse en el modo de llama y poco a poco, efectuar la transición hacia el modo inflamable. En un punto de este proceso, ambos modos pueden aparecer de manera simultánea.

La complejidad de los procesos de combustión va a la par del desarrollo de nuevos productos y sustancias y éstas, se combaten también de manera muy diferente. Los agentes ignitores han variado también para convertirse en elementos que no sólo pueden generar combustión por chispa, sino también combustión por reacción química o generación de calor.

A continuación se definen algunos conceptos básicos relacionados con la combustión:

- **Combustión:** Es una reacción química de oxidación-reducción de un material combustible con el oxígeno, en presencia de calor donde la llama, incandescencia o el humo pueden o no estar presentes.

Cuando el material combustible se encuentra en fase condensada la combustión es incandescente y cuando se encuentra en fase gaseosa se origina con llama.

- **Fuego:** Es el proceso de combustión que se caracteriza por la presencia de llama y/o humo.

- **Incendio:** Es el proceso de fuego cuando éste se propaga de una forma incontrolada en el tiempo y espacio.
- **Punto de Inflamación:** Es la mínima temperatura a la cual un líquido inflamable/combustible emite vapores en cantidad suficiente como para formar mezclas inflamables con el aire, cerca de la superficie del líquido.
- **Límite y rango de Inflamabilidad o Explosividad:** Los líquidos inflamables tienen una concentración mínima de vapor en el aire por debajo de la cual no se produce la propagación de la llama en contacto con una fuente de ignición, debido a que la mezcla es demasiado pobre; esto es lo que se conoce como el límite inferior de inflamabilidad. Hay también una proporción máxima de vapor o gas en el aire, sobre la cual no se produce la propagación de una llama en contacto con una fuente de ignición, debido a que la mezcla es demasiado rica; esto se conoce como límite superior de inflamabilidad.

El rango de inflamabilidad o Explosividad, es la diferencia que hay entre los límites inferiores y superiores de la inflamabilidad expresados en porcentajes de vapor de gas, por volumen de aire.

- **Punto de incendio:** La temperatura más baja a la que un líquido contenido en un recipiente abierto comienza a emitir vapores con suficiente velocidad para propiciar la combustión continuada, se llama punto de incendio. El punto de incendio está generalmente a unos pocos grados por encima del punto de inflamación.
- **Punto de Autoinflamación:** Es la menor temperatura a la cual una mezcla de gas inflamable y aire van a originar una llama, sin necesidad de una fuente externa de calor. Ejemplo: La gasolina de 56 a 76 octano su punto de Autoinflamación es de 280 °C.

PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Son cuatro las categorías de los productos de combustión: (1) gases del fuego, (2) Llamas, (3) Calor y (4) Humo. Todos estos productos se producen en diversos grados en todos los fuegos. El material o materiales que participan en el incendio y las reacciones químicas resultantes producidas por el fuego, determinan los productos de la combustión.

Gases del Fuego: La principal causa de pérdidas de vidas en los incendios es la inhalación de gases y humo caliente, tóxicos y deficientes en oxígeno. La cantidad y el tipo de gases del fuego que se encuentran presentes durante y después de un incendio, varían en gran medida de acuerdo con la composición química del material quemado, la cantidad de oxígeno disponible y la temperatura. El efecto de los gases tóxicos y el humo en las personas dependerá del tiempo que éstas permanezcan expuestos a ellos, de la concentración de los gases en el aire y de la condición física de la persona.

En un incendio suele haber varios gases. Los que comúnmente se considera letales son: monóxido de carbono, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, amoníaco, cianuro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno, dióxido de nitrógeno, acroleína y fosgeno.

Llama: La combustión o quemado de los materiales en una atmósfera rica en oxígeno suele ir acompañada de llamas. Es por esto que las llamas se consideran un producto propio, característico de la combustión. Las quemaduras pueden ser consecuencia del contacto directo con las llamas o del calor irradiado de las mismas. Son raras las ocasiones en que las se separan una distancia apreciable de los materiales de combustión.

Calor: El calor es el producto de la combustión que es más responsable de la propagación del fuego. La exposición al calor de un incendio afecta a las personas en proporción directa a la distancia de la exposición y a la temperatura del calor. Los peligros de exponerse al calor de un incendio varían desde las lesiones menores hasta la muerte. La exposición al aire caliente aumenta el pulso cardíaco y provoca deshidratación, cansancio, obstrucción del tracto respiratorio y quemaduras.

Humo: El humo es una materia que consiste en partículas sólidas muy finas y vapor condensado. Los gases del fuego provenientes de combustibles comunes, como la madera, contienen vapor de agua, bióxido de carbono y monóxido de carbono. En condiciones normales de poco oxígeno para una combustión completa, también existe la presencia de metano, metanol, formaldehído, así como ácidos fórmicos y acéticos. Estos gases suelen salir del combustible con la velocidad suficiente para acarrear gotitas de alquitrán inflamables que parecen humo. Las partículas de carbón se forman a partir de la descomposición de estos alquitranes, éstos también se encuentran presentes en los gases del fuego provenientes de quemar productos del petróleo, en particular de aceites y destilados pesados.

SISTEMAS A BASE DE AGUA PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Suministro de Agua.

El tipo más común para protección contra incendios es el que se basa en el uso de agua. Por lo tanto, resulta esencial que se disponga de un suministro de agua adecuado y bien mantenido. **COVENIN 1330–1997** indica los requerimientos de los sistemas de suministros de agua in situ.

El sistema de suministro de agua de la planta o del suministro público de agua cercano, será la primera fuente que utilice la brigada de incendio de la planta o el departamento de bomberos. El agua debe proporcionarse con el flujo y presión necesarios para que se activen los sistemas de aspersores automáticos y para poder utilizar las mangueras contra incendio, además de los requisitos normales de la planta. Cuando el suministro de agua público no sea suficiente para proteger la planta será necesario contar con suministro privado complementario.

Redes de tuberías: Generalmente se utilizan tuberías subterráneas el tamaño mínimo recomendado para la tubería debe ser de seis pulgadas. Se recomienda que la tubería forme un circuito cerrado en forma de red y minimizar las pérdidas por fricción siempre que sea posible. Los materiales de la tubería deben ser: acero, hierro colado y plástico.

Hidrante contra incendios: Los hidrantes contra incendios se alimentan de la tubería de servicio tanto público como privado para permitir que el departamento de bomberos, por medio de sus bombas móviles, tome agua para abastecer los sistemas de aspersores y tubos verticales, así como para los chorros de manguera.

Los hidrantes pueden ser de dos tipos: De barril húmedo o de barril seco, este último es necesario cuando exista la posibilidad de heladas.

Los hidrantes de las redes de tuberías de las plantas deben colocarse cada 76 metros y a 12 metros del edificio que protege. Se ha determinado que el flujo de agua disponible para sofocar un incendio sea de 138 Kpa ó 20 psi, pues está es la presión mínima que debe mantenerse para cumplir con las normas hidráulicas reglamentarias. En general se exige que las válvulas de las líneas de tuberías que suministran el agua para incendio sean válvulas indicadoras debido a que, las válvulas cerradas han sido la causa principal de que los sistemas de aspersores no puedan controlar los incendios.

Bombas contra incendios: Son en esencia iguales a las bombas normales usadas para el suministro de agua. Las consideraciones adicionales se presentan en la norma de la *National Fire Codes* (NFPA) número 20, *Installation of Centrifugal Fire Pumps*. Se usan en capacidades de 500, 750, 1000, 1500 y en ocasiones de 2000 ó 2500 galones por minutos, las más comunes son las de 750 y 1000 gal/min.

Los factores que deben tomarse en cuenta con relación a este tipo de bombas, son:

- Uso del equipo señalado para bombas contra incendio.
- Uso de accesorios aprobados.

- Capacidad adecuada para satisfacer las demandas de propagación contra incendio.
- Elección de un impulsor para la bomba contra incendios, con base en la confiabilidad, suficiencia, economía y seguridad de la fuente de energía.
- Operación automática.
- Ubicación segura para que el servicio sea interrumpido.
- Pruebas anuales y semanales.
- Mantenimiento.

Sistema de Aspersores

Es un sistema integrado de tuberías subterráneas y elevadas, diseñado de acuerdo con las normas de ingeniería para protección contra incendios. La instalación incluye uno o más fuentes de suministro de agua. La porción del sistema de aspersión sobre el nivel del suelo consiste en una red de tuberías de tamaño especial, o diseñado tomando en cuenta los factores hidráulicos, que se instalan en la edificación, por lo general a nivel del cielorraso, a la que se conectan los aspersores de acuerdo con un patrón sistemático. La válvula que controla cada uno de los elevadores del sistema se coloca en el elevador o la tubería que lo alimenta. Cada uno de los elevadores del sistema de aspersores incluye un dispositivo que acciona una alarma cuando el sistema se encuentra en operación. El sistema suele activarse con el calor proveniente de un incendio y descarga agua sobre el área del mismo.

Sistema de Tubería Húmeda: Este tipo de aspersores cuenta con agua a presión en todo momento

Sistema de Tubería Seca: *Se emplea en lugares de baja temperatura aproximadamente 5°C y en vez de usar agua presurizada se utiliza nitrógeno o aire a presión y la admisión del agua a la tubería se regula por medio de una válvula de tubería seca.*

Sistemas de Inundación: Estos sistemas se reservan para ciertos tipos de situaciones de riesgo extremo. Todos los aspersores se mantienen abiertos en todo momento de modo que, cuando el agua llega, toda el área se inunda de agua.

TANQUES DE AGUA ELEVADOS

El tanque elevado más pequeño que puede considerarse como útil para protección contra incendios debe tener una capacidad de 25000 galones y puede ser eficiente solo para pequeñas propiedades tales como rociadores automáticos. Los tanques entre 50 y 100 mil galones pueden constituir los suministros primarios o secundarios para peligros moderados en grandes propiedades.

Los tanques deben encontrarse a una elevación tal, que el fondo se sitúe, por lo menos, a 35 pies por encima del más alto rociador tal que ha de alimentar. El fondo de los tanques grandes, que se pretenden utilizar para proporcionar agua tanto a rociadores como mangueras, debe estar a 75 pies por lo menos y preferentemente a 100 pies por encima del nivel del terreno.

TANQUES A PRESIÓN

Pueden emplearse tanques hidroneumáticos de acero como suministros primarios de agua para demandas de corta duración, como las necesarias para poner totalmente en operación las bombas automáticas de incendio

SISTEMAS DE EXTINCIÓN POR MEDIO DE ESPUMA

Han estado en uso por muchos años para extinguir incendios de líquidos inflamables, en particular en la industria petroquímica. Las principales clases de espumas son químicas y mecánicas (que se determinan por la forma en que estas se generan), aunque las espumas químicas se consideran obsoletas en general. Estas clases

se subdividen. Las normas de la NFPA son:

- NFPA 11, Low Expansion foam Extinguishing Systems
- NFPA 11A, Medium and High Expansion foam Extinguishing Systems
- NFPA 16, Foam–Water Sprinkler and Spray Systems.
- NFPA 16A, Closed Head Foam–Water Sprinkler Systems.

Actúan como recubrimiento para excluir la presencia de aire y en algunos casos tienen un efecto aislante que resulta muy útil. Para fuego en líquidos inflamables, se dispone de espuma para la aplicación manual o automática con una selección de las características apropiadas para una gran variedad de condiciones. La cantidad de espuma varía desde $\frac{1}{2}$ pie³ hasta varios pie³ por pie cuadrados de superficie por proteger. La espuma especial de tipo Alcohol es necesaria para la aplicación a alcoholes, líquidos de tipos alcohólicos y solventes orgánicos, todos ellos insensibles a las espumas comunes. Las espumas de alta expansión están recibiendo cada día más atención y están siendo usadas más frecuentemente; Se producen con facilidad por medio de un generador de espuma de alta expansión al soplar aire a través de una pantalla húmeda con un rocío de agua continuo, que contiene un aditivo para producir burbujas, la espuma es muy ligera y fluida y puede aplicarse para llenar todo un cuarto rápidamente o cualquier otra área cerrada de tamaño considerable.

SISTEMAS DE SUPRESIÓN POR AGENTES ESPECIALES

Sistemas de Bióxido de Carbono: Es un gas no combustible que se ha usado con eficacia para extinguir cierto tipo de incendio. El bióxido de carbono diluye el oxígeno del área del incendio a tal punto que no hay aporte para la combustión. Debido a que el bióxido de carbono se almacena bajo presión es fácil que escape del recipiente. El bióxido de carbono es inerte y no conduce electricidad, puede usarse con toda seguridad en los incendios producidos en equipos de energía eléctrica sin causar daños. Se usa principalmente para combatir incendios en las siguientes situaciones:

- Líquidos Inflamables.
- Equipos Eléctricos, como es el caso de los grandes generadores eléctricos.
- En situaciones en donde se necesita un efecto de llenado de espacio por medio de una atmósfera inerte o en donde se requiere un agente de extinción no húmedo.

El dióxido de carbono se encuentra disponible en pequeños cilindros de uso manual, en bancos de grandes cilindros o en tanques de almacenamiento refrigerado.

Sistemas de extinción por medio de Halogenados: El halón es un hidrocarburo (Hidrógeno y carbono) en el que se han reemplazado algunos de los átomos de hidrógeno por elementos tales como bromo, cloro o flúor o por combinaciones de éstos. Muchos halones son tóxicos, lo cual los excluye de un uso generalizado. Dos de ellos, el halón 1301 y el 1211 tienen niveles de toxicidad aceptables y excelentes propiedades de extinción de llama.

En la actualidad, los halones para protección contra incendio están sujetos a las restricciones internacionales impuestas por el protocolo de Montreal sobre sustancias que destruyen la capa de Ozono de la estratosfera.

Sistemas de extinción por medio de sustancias químicas secas: Los agentes extinguidores por medio de sustancias químicas secas consiste en polvos finamente divididos que extinguen incendios de manera eficaz ya sea que se apliquen por medio de extinguidores portátiles, líneas de mangueras o sistemas fijos. El primer polvo seco fue el bicarbonato de sodio. En la actualidad se utiliza bicarbonato de potasio y otros polvos químicos combinados con aditivos que les permite fluir con libertad y ser más resistentes a la humedad. Se ha descubierto que las sustancias químicas secas son agentes extinguidores efectivos en los incendios de los líquidos inflamables y en ciertos tipos de combustibles ordinarios y equipo eléctrico.

Sistemas de extinción para metales combustibles: En el transporte y la industria, existe una serie de metales y polvos metálicos que arden. Algunos de ellos arden cuando se calienta a altas temperaturas debido a la fricción o al calor externo. Otros arden debido al contacto con la humedad o a que reacciona con otros materiales. Estos metales y polvos metálicos exigen el uso de agentes extinguidores y técnicas de extinción especiales. Algunos provocan explosiones y temperaturas muy altas, mientras que otros reaccionan con violencia al contacto con el agua. Otros más emiten humos tóxicos al quemarse.

El éxito de algunos agentes al extinguir metales combustibles ha propiciado el nacimiento de expresiones como polvo extinguidor aprobado y polvo seco. Típico ejemplo de los polvos utilizados en el combate contra incendios de metales es el polvo de grafito el talco y la arena.

CLASIFICACIÓN DE LOS LÍQUIDOS SEGÚN SU TIPO DE INFLAMACIÓN

- **Líquidos Inflamables:** Líquidos con punto de inflamación inferior a 37.8 °C y una presión de vapor absoluta que no exceda 277 Kpa, subdivididos en la siguiente forma:

Clase I: Incluye los líquidos con punto de inflamación menor que 37.8 °C

Clase IA: Líquidos con punto de inflamación menor que 22.8 °C y punto de ebullición menor que 37.8 °C.

Clase IB: Líquidos con punto de inflamación menor que 22.8 °C y punto de ebullición igual o mayor que 37.8 °C.

Clase IC: Líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 22.8 °C y punto de ebullición menor que 37.8 °C.

- **Líquidos Combustibles:** Líquidos con punto de inflamación igual o mayor que 37.8 °C, subdivididos de la siguiente forma:

Clase II: Líquidos con punto de inflamación igual o mayor a 37.8 °C y punto de ebullición menor que 60 °C.

Clase IIIa: Líquidos con punto de inflamación mayor o igual de 60 °C y punto de ebullición menor que 93.3 °C.

Clase IIIb: : Líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 93.3 °C.

Algunos líquidos conocidos se clasifican de la siguiente manera:

Alcohol desnaturalizado Clase IB

Aceite combustible Clase II

Gasolina Clase IB

Queroseno Clase II

Aceite de Cacahuate Clase IIIb

Turpentina Clase IC

Cera parafinada Clase IIIb

CLASES DE INCENDIOS

Según la norma NFPA 10, Portable Fire Extinguishers clasifica

- **Fuegos de la clase A:** Materiales combustibles ordinarios como Madera, tela, papel, caucho y plásticos
- **Fuegos de la clase B.**– Incendio de líquidos combustibles o inflamables, gases inflamables, grasas y materiales similares.
- **Fuegos de la clase C.**– Incendio de equipo eléctrico vivo donde la seguridad del operario exige el uso de agentes extinguidores que no sean conductores eléctricos.
- **Fuegos de la clase D.**– Incendio de ciertos metales combustibles como magnesio, titanio, circonio, sodio y potasio; que precisan un medio extinguidor que absorba el calor y que reaccione con los metales que se queman.

EXTINGUIDORES PORTÁTILES

Tanto los reglamentos municipales, estatales y nacionales como las compañías de seguros exigen que la mayoría de las plantas cuenten con extinguidores portátiles. Si se cuenta con personal capacitado en el uso adecuado de los extinguidores para apagar incendio incipientes pequeños, los extinguidores pueden resultar útiles para evitar conflagraciones mayores y más devastadoras.

Las limitantes de los extinguidores, como lo son las exposiciones de las personas al fuego y al humo, sus límites de capacidad, la selectividad y la disponibilidad, exige que, para que pueda resultar eficaces, se proporciona la capacitación correspondiente.

La norma NFPA 10 Portable Fire Extinguishers, prevé la clase y cantidad de extinguidores necesarios para los tipos de incendios específicos. Los tipos de extinguidores más comunes son los de agua presurizada, bióxido de carbono o sustancias químicas secas multiuso. Otros extinguidores de uso habitual son los tanques de bomba de agua, el halon 1211 y el polvo seco de tipo metálico combustible.

Identificación de Extinguidores Portátiles según el tipo de Incendio

Norma NFPA 10, Standard for Portable Fire Extinguishers

RIESGOS QUE OFRECE LA ELECTRICIDAD

Riesgos con la electricidad de bajo Voltaje: El tema de los riesgos con electricidad de bajo voltaje es sumamente extenso. Un gran número de factores estrechamente relacionados con la seguridad se halla involucrado en la transmisión y utilización de la electricidad, como son: Diseño, instalación, dispositivos protectores, inspección, mantenimiento y adiestramiento.

Acto o causas inseguras	Porcentaje
Sobrecarga, defectuosa disposición	36
Exposición innecesaria al peligro	10
Empleo inseguro o impropio del equipo	31
No haber empleado el equipo protector individual	5
Trabajar en, mover equipo peligroso	16
Poner en marcha o detener en forma inadecuada	2

Los sistemas de bajo voltaje y medio necesitan protección contra sobrecargas y fallas. La sobrecarga consiste en que el circuito funciona excediendo su capacidad por un tiempo suficiente como para provocar daños o

sobrecalentamientos peligrosos. La falla puede ser un corto circuito o un circuito abierto. Un corto circuito franco sucede cuando existe una conexión sólida entre dos conductores de fase, un conductor de fase y tierra o los tres elementos conductores de fase. Algunos dispositivos protectores activados por las sobrecargas o las fallas son: Los fusibles que se derriten y los relevadores y dispositivos disparadores de acción directa, los cuales abren interruptores del circuito, abren los contactos o accionan alarmas.

Los dispositivos protectores contra cortocircuito, tales como fusibles, dispositivos de disparo por sobrecorriente y los relevadores, funcionan en lapsos cuya duración puede establecerse o elegirse de antemano de acuerdo con la magnitud de la corriente de falla. Todos los dispositivos para sobrecorriente en serie que se encuentran entre la fuente y la falla sufren la misma corriente de cortocircuito, la cual modifica su magnitud sólo cuando hay transformadores presentes. Los componentes principales de los sistema exigen inmediata eliminación del cortocircuito para minimizar el daño provocado por la falla. Los relevadores diferenciales logran esto sin poner en una posición difícil la selectividad del sistema.

Ambiente y Seguridad Industrial Incendios

OXIGENO

(Agente Oxidante)

CALOR

COMBUSTIBLE

(Agente Reductor)

REACCIONES EN

CADENA

A

COMBUSTIBLES

ORDINARIOS

Los extinguidores adecuados para los incendios de clase A deberán marcarse con un triángulo que contenga la letra A. En caso de que se coloree el triángulo deberá ser de color verde.

B

Líquidos

INFLAMABLES

Los extinguidores adecuados para los incendios clase B deberán marcarse con un cuadrado que contenga la letra B. En caso de que se coloree el cuadrado, deberá ser en color rojo.

C

EQUIPO

ELÉCTRICO

Los extinguidores adecuados para los incendios clase C deberán marcarse con un círculo que contenga la letra C. En caso de que se coloree el círculo, deberá ser en color azul.

D

METALES

COMBUSTIBLES

Los extinguidores adecuados para los incendios de clase D deberán marcarse con una estrella de cinco picos que contengan la letra D. En caso de que se coloree la estrella, deberá ser en color amarillo.