



GUÍA DE ESTUDIO

EL FUEGO Y SUS FENÓMENOS

SUB-TNT EDUARDO LEÓN DE LA TORRE GARCÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN REALIZADA EN EL PRIMER TRIMESTRE DEL 2015

INTRODUCCIÓN:

Esta guía nace de la necesidad de mirar el fuego de una manera más científica con criterios técnicos que nos permitan a los bomberos crear técnicas adecuadas a la realidad actual y a reforzar la preparación tradicional en los procesos de formación.

Con la lógica que estos conocimientos se masifiquen ya que estos criterios están en el medio científico ya algunos años.

El conocer al fuego desde sus propias entrañas nos ayudara a entender sus reacciones y fenómenos, esto nos ayudara a prevenir accidentes y desastres ya que comprenderemos de mejor manera los comportamientos de nuestro enemigo común los incendios.

En este primer nivel hacemos la introducción a los conocimientos físicos químicos del fuego y los fenómenos más comunes que se podrían presentar en nuestra realidad ya en la segunda guía tendremos una explicación más amplia y profunda de los diferentes fenómenos existentes.

ÍNDICE

Introducción.....	pg.1
1.- EL FUEGO.....	pg. 3
2.-COMPONENTES DEL FUEGO.....	pg.12
3.- TRANSFERENCIA DE CALOR.....	pg.20
4.- FASES DEL INCENDIO.....	pg.29
5.- FENÓMENOS MÁS COMUNES DEL FUEGO.....	pg. 31
5.1.-FLASHOVER	
5.2.-BACKDRAFT.	
5.3.-ROLLOVER	
5.4.-BLEVE:	
5.5.-REBOSAMIENTOS DE LÍQUIDOS COMBUSTIBLES	
5.6.-FLASH FIRE	
5.7.-EFECTO TRENCH.	
5.8.-EXPLOSIÓN POR PARTÍCULAS DE POLVO	
5.9.-TORNADO DE FUEGO	
5.10.-TORMENTA ÍGNEA	
BIBLIOGRAFÍA.....	PG.

1.- EL FUEGO

1.1.-Conceptos generales.

¿Qué es el fuego?

Podremos definir al fuego de algunas formas y conceptos que varían dependiendo de la escuela de donde venga americana o europea que coincide en mucho, pero si mantienen una diferencia técnica clara por ejemplo:

- Es una reacción química con desprendimiento de luz, llama y calor.
- Es el proceso de combustión caracterizado por la emisión del calor acompañado de humo y/o llamas.

Este concepto acertado pero muy básico no debería de caber en nuestros criterios ya que manejamos una realidad más técnica es decir que podríamos subir un escalón en el concepto y decir:

- Es una reacción química, que resulta de la combinación de Oxígeno, Calor y Combustible, en proporciones iguales y bajo ciertas condiciones especiales.
- Se llama fuego al conjunto de partículas o moléculas incandescentes de materia combustible, capaces de emitir luz visible, producto de una reacción química de oxidación violenta.

O podemos tomar como punto de partida el concepto que nos expone LA ESCUELA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL ESPAÑOLA EN SU MANUAL DE PRIMERA INTERVENCIÓN AL FUEGO, que a mi parecer es muy acertado y refleja claramente el verdadero concepto del fuego.

El Fuego es una reacción química de Oxidación-Reducción (REACCIÓN DE COMBUSTIÓN) que se caracteriza por la emisión de luz y calor, acompañada de humo, llamas o de ambos. En esta reacción se produce un intercambio de electrones entre un material que los gana (**agente oxidante**) y un material que los pierde (**agente reductor**).

1.2.- Conceptos básicos

Tomando como punto de partida este concepto compuesto y para poder explicarlo de mejor manera necesitamos conocer algunos conceptos simples y principios generales, los mismos que los estudiaremos antes de pasar a la explicación del fuego sus fenómenos y reacciones.

Equilibrio térmico.-El calor generado por la combustión y el calor disipado al espacio, tienden a igualarse y así alcanzar el equilibrio térmico.

Cuando el calor generado supera al calor disipado el fuego tiende a aumentar y si el calor disipado supera al calor generado el fuego tiende a disminuir.

PUNTO DE EBULLICIÓN- La temperatura alcanzada por una sustancia donde la tasa de evaporación es igual a la tasa de condensación.

TEMPERATURA DE GASIFICACIÓN.- Es la temperatura mínima en la cual una sustancia comienza a desprender gases o vapores en un porcentaje aceptable para entrar en combustión.

RANGO DE INFLAMABILIDAD.- Para que una sustancia arda, no sólo se requiere que este gasificado, sino que además estos vapores o gases estén mezclados en determinados porcentajes con el oxígeno del aire.
Esta mezcla inflamable comprende una escala variable de porcentaje de gases o vapores y oxígeno del aire, que es propia para cada combustible.

MEZCLAS INFLAMABLES.- Son los porcentajes entre la materia que se reduce y el elemento oxidante los estudiaremos en estos tres niveles:

Mezcla rica.- Es cuando el porcentaje de gases o vapores excede el límite superior, es decir que existe demasiado gas y un bajo porcentaje de aire.

Mezcla pobre.- Esto corresponde cuando el gas o vapor se encuentra bajo el límite inferior, es decir existe demasiado aire y poca cantidad de gases o vapores inflamables.

Mezcla óptima.- Es cuando los gases o vapores se encuentran entre el rango superior e inferior.

PUNTO DE INFLAMACIÓN- La mínima temperatura a la cual un combustible líquido emana vapores suficientes como para formar una mezcla inflamable con el aire alrededor de la superficie.

Para que una sustancia arda, no sólo se requiere que este gasificado, sino que además estos vapores o gases estén mezclados en determinados porcentajes con el oxígeno del aire.

Esta mezcla inflamable comprende una escala variable de porcentaje de gases o vapores y oxígeno del aire, que es propia para cada combustible.

PUNTO DE IGNICIÓN.- Es la temperatura mínima en la cual una sustancia entra en combustión espontánea y sostenida. El punto es por lo general unos pocos grados por encima del punto de inflamación.

PUNTO DE RELÁMPAGO.- (en inglés *flash point*) sería aquél en que los gases producidos por el combustible empiezan a arder, pero si se retira la fuente de calor de ignición, se apagan de nuevo. La temperatura en ese punto suele ser unos 10 °C más baja que la de ignición.

EL PUNTO DE AUTOIGNICIÓN O PUNTO DE AUTOINFLAMACIÓN.- Es una característica de los materiales inflamables (combustible) que define las condiciones en que se inicia una reacción de combustión en cadena, sin intervención de una fuente externa de calor, y el proceso de combustión continua a partir de ese momento.

Cuando una sustancia combustible se oxida espontáneamente, aumenta su temperatura, puesto que la reacción de oxidación es exotérmica. Conforme aumenta la temperatura se oxida más rápidamente, y desprende calor más deprisa, hasta que en cierto momento, el calor desprendido hace que la temperatura llegue a un punto en el que se produce la ignición (oxidación violenta)

CAMBIO FÍSICO.- No altera la composición química de una sustancia; cambio de estado.

CAMBIO QUÍMICO.- Altera la composición química de una sustancia.

REACCIÓN DE CALOR ENDOTÉRMICA- Una reacción química donde la sustancia absorbe la energía calórica.

Se denomina **reacción endotérmica** a cualquier reacción química que absorbe energía.

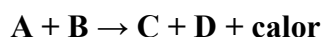
Si hablamos de entalpía (H), una **reacción endotérmica** es aquella que tiene un incremento de entalpía o ΔH positivo. Es decir, la energía que poseen los productos es mayor a la de los reactivos.

Las reacciones endotérmicas y especialmente las relacionadas con el amoníaco impulsaron una próspera industria de generación de hielo a principios del siglo XIX. Actualmente el frío industrial se genera con electricidad en máquinas frigoríficas.

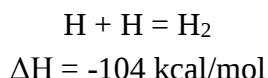


REACCIÓN DE CALOR EXOTÉRMICA- Una reacción química donde la sustancia libera energía calórica. Se denomina **reacción exotérmica** a cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o calor,¹ o lo que es lo mismo: con una variación negativa de la entalpía; es decir: $-\Delta H$. El prefijo **exo** significa «hacia fuera». Por lo tanto se entiende que las reacciones exotérmicas liberan energía. Considerando que A, B, C y D representen

sustancias genéricas, el esquema general de una reacción exotérmica se puede escribir de la siguiente manera:



Ocurre principalmente en las reacciones de oxidación. Cuando éstas son intensas pueden generar fuego. Si dos átomos de hidrógeno reaccionan entre sí e integran una molécula, el proceso es exotérmico.



PESO ESPECÍFICO DE UNA SUSTANCIA LÍQUIDA.- Es la relación que existe entre el peso de una sustancia y el peso del agua. Como patrón de referencia al agua se le asigna el valor 1.

EXPLOSIÓN VOLUMÉTRICA.- Cuando una sustancia se encuentra sometida a altas temperaturas y a ésta se le aplica agua como agente extintor (teniendo el mismo peso específico ambos), y considerando que el agua al hervir aumenta su volumen alrededor de 1700 veces a los 100 °C, ésta al ocupar dicho espacio, desplazará la sustancia.

DENSIDAD DE LOS GASES.- Corresponde a la relación existente entre un gas y otro, considerando como patrón el aire al cual se le asigna el valor de 1.

Existen gases o vapores más livianos que el aire, los cuales tienen la tendencia a elevarse y otros por el contrario tienden a acumularse en los niveles inferiores.

Tabla de magnitud física fundamental.-

Magnitud física que se toma como fundamental	Unidad básica o fundamental	Símbolo de la unidad
Longitud (L)	metro	m
Masa (M)	kilogramo	kg
Tiempo (T)	segundo	s
Temperatura (Θ)	kelvin	K
Intensidad de corriente eléctrica (I)	amperio	A

Cantidad de sustancia (μ)	mol	mol
Intensidad luminosa (lv)	candela	cd

ENTALPÍA.- (del griego ἐνθάλπω [enthálpō], ‘agregar calor’; formado por ἐν [en], ‘en’ y θάλπω [thálpō], ‘calentar’) es una magnitud termodinámica, simbolizada con la letra H mayúscula, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

REACCIÓN REDOX.- Se denomina **reacción de reducción-oxidación**, de **óxido-reducción** o, simplemente, **reacción redox**, a toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

SOLUBILIDAD.- Es una medida de la capacidad de disolverse de una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (solvente). Implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad determinada de solvente a una temperatura fija. Puede expresarse en unidades de concentración: molaridad o fracción molar.

PIROLISIS.- Es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno (y de cualquier halógeno). Involucra cambios simultáneos de composición química y estado físico, los cuales son irreversibles. En este caso, no produce ni dioxinas ni furanos. Es una reacción química. La pirolisis extrema, que solo deja carbono como residuo, se llama carbonización. La pirolisis es un caso especial de termólisis.

TERMÓLISIS.- es la reacción en la que un compuesto se separa en al menos otros dos cuando se somete a un aumento de temperatura. Por ejemplo el carbonato de calcio se descompone en óxido de calcio y dióxido de carbono. En otros compuestos se pueden llegar a separar sus átomos constitutivos, por ejemplo, el agua calentada a más de 2.500°C rompe sus enlaces y se convierte en átomos de hidrógeno y oxígeno.

Energía calorífica Química.- Las reacciones de oxidación generalmente producen calor. Estas fuentes de calor tales como el calor de combustión, calentamiento espontáneo y calor por disolución constituyen conceptos muy importantes para el personal dedicado a la prevención y protección contra incendios.

Calor de Combustión.- El calor de combustión es la cantidad de calor emitido durante la completa oxidación de una sustancia.

Calentamiento Espontáneo.- Es el proceso de aumento de temperatura de un material dado sin que para ello extraiga calor del medio ambiente y tiene por resultado la ignición espontánea o la combustión espontánea.

Calor por Disolución.- El calor por disolución es el que se desprende al disolverse una sustancia en un líquido. Los productos químicos que reaccionan con agua (sodio, magnesio)

Energía Calorífica de Origen Eléctrico.- La energía produce calor cuando fluye por un conductor o salta una chispa debido a una discontinuidad de la conducción.

Calor debido al Arco Eléctrico.- El arco de corriente se produce cuando un circuito eléctrico se interrumpe: La temperatura de los arcos eléctricos es muy alta y el calor emitido puede ser suficiente para producir la ignición de un material combustible cercano.

Calentamiento por Electricidad Estática.- La electricidad estática corresponde a una acumulación de carga eléctrica en la superficie de los materiales que se han unido y separado después. Si estas sustancias no estuvieran conectadas a tierra podrían asimilar suficiente carga eléctrica para producir la chispa.

Calor generado por el rayo.- El rayo es una descarga eléctrica sobre una nube o sobre la tierra. El rayo que pase de una nube a la tierra puede desarrollar temperaturas muy altas en cualquier material de alta resistencia que se encuentre en su camino tal como la madera.

Energía Calorífica de origen Mecánico.- Es la responsable de un importante número de incendios todos los años. El calor originado por fricción, produce la mayor parte de estos incendios aunque hay pocos y notables ejemplos de ignición por energía calorífica mecánica desprendida por compresión.

Calor por Fricción.- Es la energía empleada por vencer la inercia (resistencia al movimiento) de sólidos en contacto entre sí.

Chispa por fricción.- Cuando dos superficies duras, una de las cuales es al menos metálica, chocan entre sí, este impacto produce chispas.

Sobrecalentamiento de la Maquinaria.- El sobrecalentamiento de la maquinaria es un término referido a los incendios causados por el calor que resulta del, rodamiento, deslizamiento o fricción de la maquinaria o entre dos superficies duras.

Calor por Compresión.- Es el que se desprende de la compresión de un gas. Es cuando la temperatura de un gas aumenta cuando se le comprime.

Energías Calorífica Nuclear.- Es la que despiende el núcleo de un átomo. La energía nuclear se desprende en forma de calor, presión y radiación.

Reacción Química.- Los cambios químicos siempre van acompañados de cambios energéticos. Estas variaciones de energías constituyen uno de los aspectos más importantes en el estudio de las reacciones químicas.

IONIZACIÓN.- es el fenómeno químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra. A la especie química con más electrones que el átomo o molécula neutros se le llama anión, y posee una carga neta negativa, y a la que tiene menos electrones catión, teniendo una carga neta positiva. Hay varias maneras por las que se pueden formar iones de átomos o moléculas,

Combustión.- es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de Energía en forma de calor y luz, manifestándose visualmente gracias al fuego, u otros.

Poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear, ya que para ello se usa la fórmula $E = m \cdot c^2$).

CATÁLISIS.- es el proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada **catalizador** y las que desactivan la catálisis son denominados inhibidores. Un concepto importante es que el catalizador no se modifica durante la reacción química, lo que lo diferencia de un reactivo.

En la síntesis de muchos de los productos químicos industriales más importantes hay una catálisis. El envenenamiento de los catalizadores, que generalmente es un proceso no deseado, también es utilizado en la industria química. Por ejemplo, en la reducción del etino a eteno, el catalizador paladio (Pd) es "envenenado" parcialmente con acetato de plomo (II), $Pb(CH_3COO)_2$. Sin la desactivación del catalizador, el eteno producido se reduciría posteriormente a etano

PRESIÓN DE VAPOR.- es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentra en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas. Este fenómeno también lo presentan los sólidos; cuando un sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (proceso denominado

sublimación o el proceso opuesto llamado *sublimación inversa*) también hablamos de presión de vapor. En la situación de equilibrio, las fases reciben la denominación de **líquido saturado** y **vapor saturado**. Esta propiedad posee una relación inversamente proporcional con las fuerzas de atracción intermoleculares, debido a que cuanto mayor sea el módulo de las mismas, mayor deberá ser la cantidad de energía entregada (ya sea en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y producir el cambio de estado.

1.3.- DESARROLLO DE CONCEPTO DEL FUEGO.

Hemos tomado como concepto de partida de que “**El Fuego** es una reacción química de Oxidación-Reducción (REACCIÓN DE COMBUSTIÓN) que se caracteriza por la emisión de luz y calor, acompañada de humo, llamas o de ambos. En esta reacción se produce un intercambio de electrones entre un material que los gana (**agente oxidante**) y un material que los pierde (**agente reductor**)”.

Podemos decir que el fuego es más que los tres elementos que hemos aprendido en el triángulo de fuego como forma de partida y sumamos la reacción en cadena como elemento de sustento y desarrollo del mismo, la realidad es que interviene el elemento **REDOX** y sin este elemento no podría iniciarse el fuego como tal.

Ya sabemos que para que exista fuego inicialmente tendremos que acelerar la estabilidad termitica de un elemento, el mismo que entra en un proceso de reducción y cambio de materia sea solida o liquida a gaseosa y son estos elementos gaseosos los que inicialmente se combinan y arden teniendo en cuenta que el porcentaje de estos gases dependerá si es un proceso de cambio físico o químico y que material sea el primario y el secundario que es el producto del proceso de gasificación.

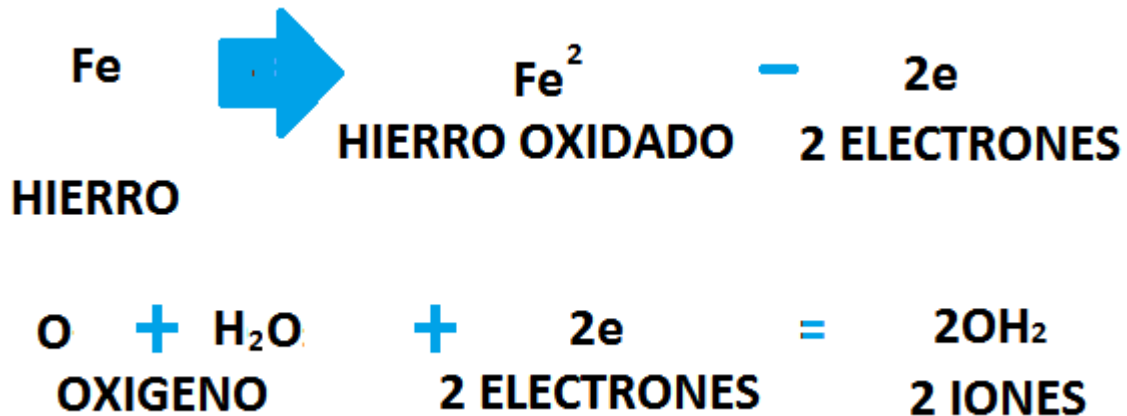
Vamos a tomar como ejemplo un fuego clase A (un sólido inflamable) en este caso un simple pedazo de madera esta será la materia que se reduce, aire será el material oxidante y un serillo la energía calórica que sirve como punto de ignición.

Si dejamos este trozo de madera al aire libre el oxígeno, (que como ya sabemos está en un porcentaje promedio entre el 19 y 21% en el ambiente) empezara un proceso lento de oxidación o descomposición de esta materia, pero si acerco e serillo y comienzo a calentar este pedazo de madera comienzo a romper ese equilibrio térmico, acelero drásticamente el proceso de oxidación y reducción en el cual el trozo de madera que es una materia solida se comienza a transformar en gas, este cambio es el que llamaos técnicamente proceso de reducción, estos gases ya son un elemento nuevo y externo del trozo de madera, el mismo que tiene su propio punto de ignición y si la temperatura que genera el serillo es suficiente encenderá estos gases, que son los que van a generar el fuego que vemos en el día a día de nuestro trabajo.

Debemos entender que este proceso es exotérmico que cambiara de punto de ignición y gasificación dependiendo del elemento su estado, su composición física química, la cantidad de masa que contenga el mismo, y otros elementos en general que influyen en la calidad de la combustión.

Vamos a dar otro ejemplo muy común de la reacción REDOX para entender de mejor manera su importancia:

Tomaremos como ejemplo al proceso de oxidación del hierro (Fe).

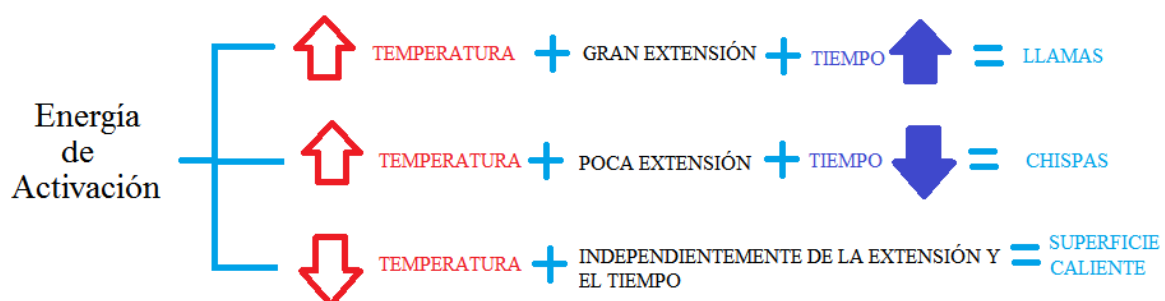


Vemos que Fe se oxida y se convierte en Fe²⁺ en esta oxidación pierde 2 electrones que los gana el oxígeno y se convierte en iones OH⁻ es decir el Fe es agente que se reduce y el O es el agente oxidante.

Es decir siempre va a ver una forma reducida que al perder electrones pase a una forma oxidada y luego podría a pasar a la inversa ganar electrones y pasar a la forma reducida.

Recordemos que el elemento que está actuando como oxidante es el oxígeno pero existen otros tipos de oxidantes el nitrato de sodio, el nitrato de potasio, peróxidos, agua oxigenada pero el más conocido es el oxígeno que se encuentra en el aire.

Tenemos que tener en cuenta también que para que se la reacción de combustión a la energía de activación o punto de ignición ya que sin la temperatura adecuada no elevaremos la estabilidad del elemento y no podremos generar el proceso, hay tres elementos simples en esta etapa que dependen de su fuerza y el tiempo de duración del desprendimiento de energía



Entonces podemos decir que el **FUEGO ES UNA REACCIÓN EN CADENA EXOTÉRMICA** **DEPENDIENTE DE UN PROCESO RODOX** DONDE UN **ELEMENTO SE REDUCE, PRODUCTO DE LA OXIDACIÓN Y GENERA GASES Y OTROS ELEMENTOS SEGÚN SU DESCOMPOSICIÓN Y LO LIMPIA DE LA COMBUSTIÓN.**

2.-COMPONENTES DEL FUEGO

2.1.- Triangulo de fuego.

El triángulo de fuego o el triángulo de la combustión nos representan a los tres elementos base para la conformación de la mayor parte de los fuegos: un **COMBUSTIBLE**, un **COMBURENTE** (un agente oxidante como el oxígeno) y **ENERGÍA DE ACTIVACIÓN**

Me refiero a casi todo ya que existen algunos compuestos que liberan su propio oxígeno durante la combustión (ej. El nitrato de sodio y el cloruro de potasio, los cuales pueden arder en un ambiente sin oxígeno) y estos alteran el concepto de triángulo de fuego, pero esta es la excepción que confirma la regla.



2.2 COMBUSTIBLE (Agente Reductor).

Se define como cualquier elemento sólido, líquido o gaseoso que puede ser oxidado.

El término reductor se usa para representar la reacción química que sufre un combustible desde el estado físico en que se encuentre hasta llegar a gaseoso y luego participar en la generación del fuego (RODOX)

CONCEPTOS TÉCNICOS:

a) ESTADO FÍSICO

1. **SOLIDO.**
2. **LIQUIDO.**
3. **GASEOSO.**

1. **SOLIDO.-**

- Tienen forma definida.
- Tienen volumen constante,
- Entre sus moléculas predominan las fuerzas atractivas (están férreamente unidas).
- Para que un sólido arda, debe estar en estado de GAS

ENTRE LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS TENEMOS:

- Carbón vegetal
- Resinas
- Plásticos
- Grasas
- Metales (Aluminio, Magnesio)
- Elementos no metálicos (Azufre, Fósforo)
- Sustancias con celulosa (Madera, Papel, Textiles)

2. **LÍQUIDOS.-**

- Tienen volumen, pero carecen de forma propia y adoptan la forma del recipiente que los contiene.
- Las fuerzas moleculares están casi en equilibrio, con ligero predominio de las atractivas.
- Para que un líquido arda, debe estar en estado GASEOSO

Entre Los Combustibles Líquidos Tenemos:

- Petróleo crudo y sus derivados (Gasolina, Diésel, etc.)
- Algunos alcoholes.
- Aceites

3.- GASEOSO.

- Carecen de volumen y forma propia (adoptan la de los depósitos que los contiene).
- Entre sus moléculas predomina la fuerza de repulsión (de ello proviene su gran expansibilidad).
- Recuerde, lo que arde son siempre los GASES

2.3.- COMBURENTE (OXIGENO como agente oxidante).

Un **comburente** es cualquier sustancia que en ciertas condiciones de temperatura y presión puede combinarse con un combustible, provocando así una combustión. Actúa oxidando al combustible y por lo tanto siendo reducido por este último.

Para que se produzca la combustión es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno, que por regla general va de un 15% hasta en casos extremos de un 5%.

En situaciones en donde no hay oxígeno atmosférico, o en donde se desea una combustión muy fuerte y energética, se puede usar oxígeno gaseoso o líquido, como es en el caso de los cohetes usados en los transbordadores espaciales, o bien diversos tipos de comburentes compuestos. Por ejemplo, en la combustión de la pólvora dentro de un cartucho, el oxígeno es aportado por una sal de un oxácido, como el nitrato de potasio o el clorato de potasio.

Oxidación es la reacción química en la cual una sustancia combustible se combina con el oxígeno, recibiendo el nombre de oxidación.

Normalmente el agente oxidante es el oxígeno del aire, sin embargo existen algunos compuestos que liberan su propio oxígeno durante la combustión (ej. El nitrato de sodio y el cloruro de potasio, los cuales pueden arder en un ambiente sin oxígeno).

También vamos a recalcar a la **sustancia pirofórica**, estas puede inflamarse espontáneamente en el aire. Algunos ejemplos son el sulfuro de hierro y muchos metales reactivos como el uranio,¹ cuando se encuentran en polvo o en láminas finas.

Los materiales pirofóricos son a menudo reactivos frente al agua y por ello, se inflamarán cuando entren en contacto con agua o aire húmedo. Estos materiales pueden ser manejados de forma segura en atmósferas de argón o nitrógeno (con algunas excepciones). La mayoría de los incendios pirofóricos deben ser extinguidos con un extintor de clase D para metales en llamas.

2.4.-ENERGÍA DE ACTIVACIÓN (energía calórica)

La **energía de activación** (E_a) es un término que introdujo Arrhenius en 1889 y se define matemáticamente como:

$$E_a = RT^2 d \ln(k) / dT$$

.

Es decir, la derivada del logaritmo con base e de la constante de reacción respecto a la temperatura, multiplicada por la constante de los gases y por la temperatura al cuadrado. Pudiendo ser la energía de activación un número positivo o negativo.

Es la energía capaz de aumentar la actividad molecular de la estructura química de una sustancia combustible.

Ej. Fricción, roce, encendedor, fosforo, chimeneas, horno, etc.

La **energía de activación** (E_a) en química y biología es la energía mínima que necesita un sistema antes de poder iniciar un determinado proceso. La energía de activación suele utilizarse para denominar la energía mínima necesaria para que se produzca una reacción química dada. Para que ocurra una reacción entre dos moléculas, éstas deben colisionar en la orientación correcta y poseer una cantidad de energía mínima. A medida que las moléculas se aproximan, sus nubes de electrones se repelen. Esto requiere energía (energía de activación) y proviene de la energía térmica del sistema, es decir la suma de la energía traslacional, vibracional, etcétera de cada molécula. Si la energía es suficiente, se vence la repulsión y las moléculas se aproximan lo suficiente para que se produzca una reordenación de los enlaces de las moléculas. La ecuación de Arrhenius proporciona la base cuantitativa de la relación entre la energía de activación y la velocidad a la que se produce la reacción. El estudio de las velocidades de reacción se denomina cinética química.

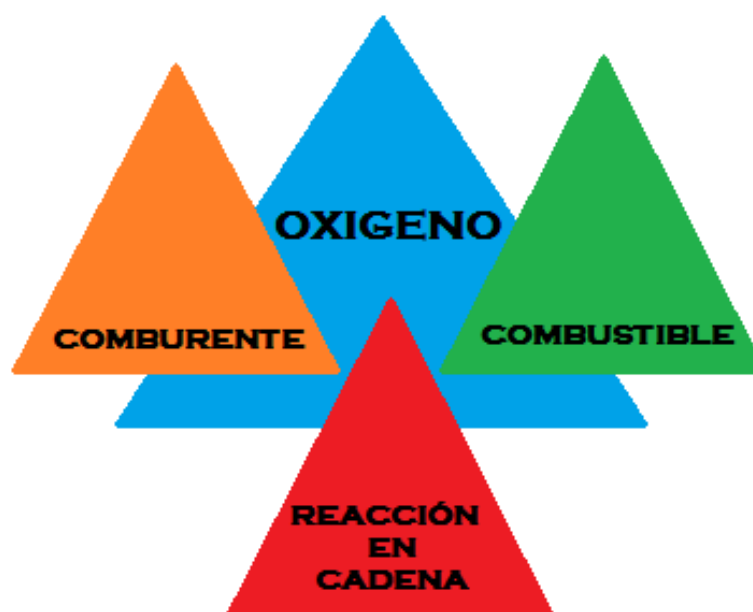
Un ejemplo particular es el que se da en la combustión de una sustancia. Por sí solos el combustible y el comburente no producen fuego, es necesario un primer aporte de energía para iniciar la combustión auto sostenida. Una pequeña cantidad de calor aportada puede bastar para que se desencadene una combustión, haciendo la energía calórica aportada el papel de energía de activación y por eso a veces a la energía de activación se la llama *entalpía de activación*.

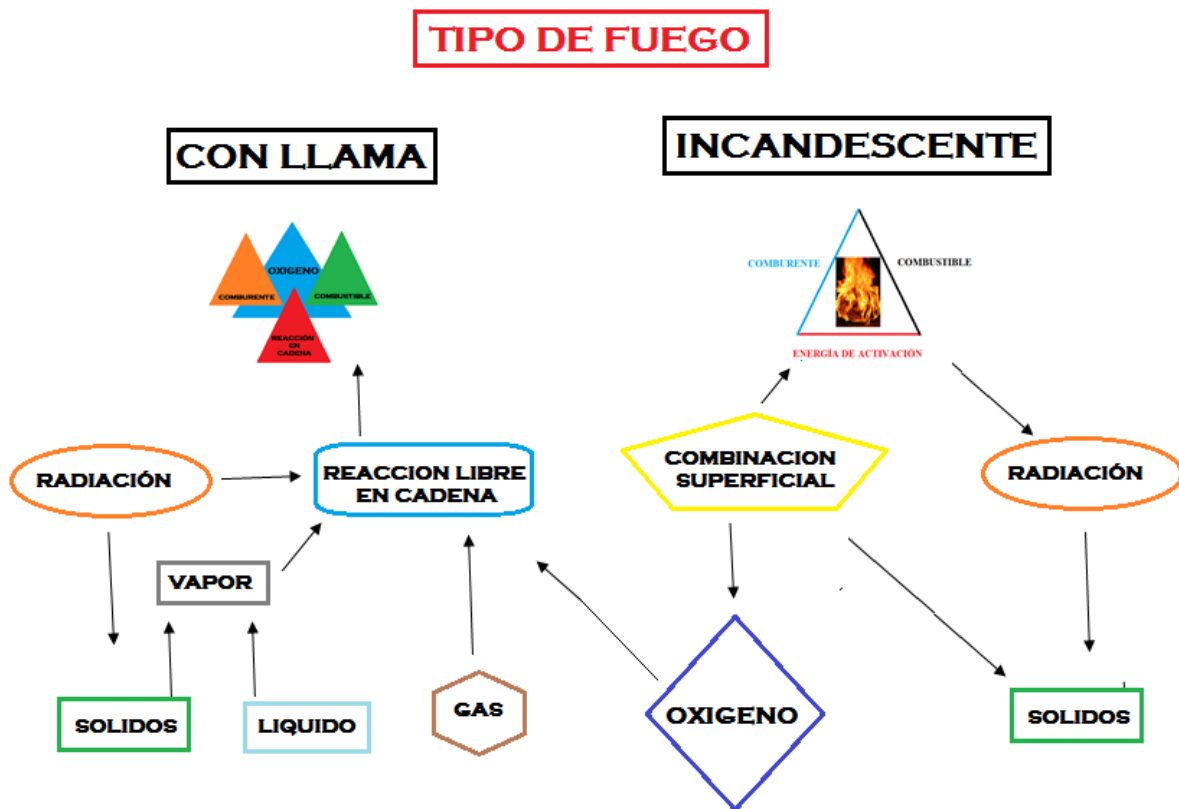
Según el origen de este primer aporte de energía se clasifica como:

- Químico: La energía química exotérmica desprende calor, que puede ser empleado como fuente de ignición.
- Eléctrico: El paso de una corriente eléctrica o un chispazo produce calor.
- Nuclear: La fusión y la fisión nuclear producen calor.
- Mecánico: Por compresión o fricción, la fuerza mecánica de dos cuerpos puede producir calor.

2.5.-TETRAEDRO DEL FUEGO (Reacción En Cadena)

Cuando las investigaciones sobre la combustión, los métodos y elementos para sofocar la misma avanzaron, se dieron cuenta que algunos métodos de extinción eran eficaces pero no intervenían en ninguno de los tres elementos del triángulo del fuego, por lo cual se llegaron a la conclusión que existía otro elemento que intervenía en la estructura del fuego, se llegó a la conclusión que este elemento era la Reacción en Cadena y se impuso una diferenciación entre fuegos con llamas y sin llamas o incandescente.





2.6.-REACCION EN CADENA (Combustión).

Una **reacción en cadena** es una secuencia de reacciones en las que un producto o subproducto reactivo produce reacciones adicionales.¹

Ejemplos:

- La reacción en cadena de la fisión por neutrones libres: dos neutrones más un átomo fisionable provocan una fisión que da lugar a un número mayor de neutrones libres que los que se consumieron en la reacción inicial.
- Reacciones químicas en que uno de los productos de la reacción es una partícula reactiva que puede provocar otras reacciones parecidas. Por ejemplo, a cada paso de la reacción en cadena de $H_2 + Cl_2$ se consume una molécula de H_2 o de Cl_2 y un radical libre $H\cdot$ o $Cl\cdot$, generándose una molécula de HCl y otro radical libre.

La **combustión** es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de Energía en forma de calor y luz, manifestándose visualmente gracias al fuego, u otros.

En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente el oxígeno en forma de O_2 gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

Los tipos más frecuentes de combustible son de materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno. En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua, el dióxido de azufre (SO_2) (si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo de la presión.

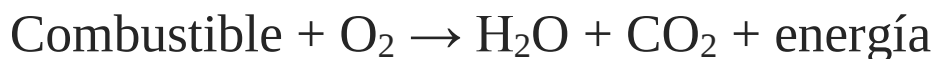
En la combustión incompleta los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación, debido a que el comburente y el combustible no están en la proporción adecuada, dando como resultado compuestos como el monóxido de carbono (CO). Además, puede generarse carbón.

El proceso de destruir materiales por combustión se conoce como incineración.

Para iniciar la combustión de cualquier combustible, es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada temperatura de ignición, que se define como la temperatura, en $^{\circ}C$ y a 1 atm (1013 hPa) de presión, a la que los vapores de un combustible arden espontáneamente.

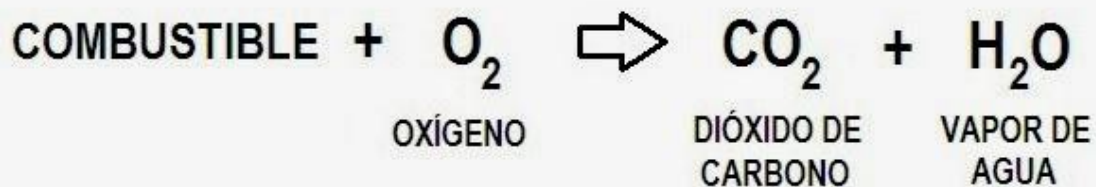
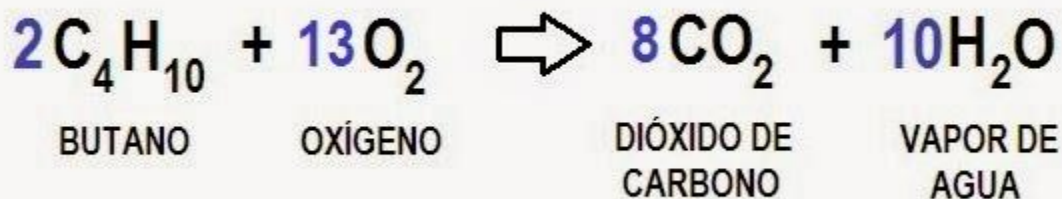
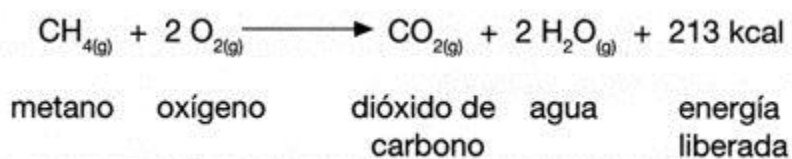
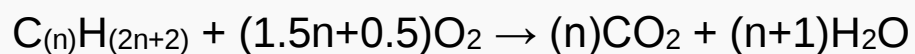
La temperatura de inflamación, en $^{\circ}C$ y a 1 atm, es aquella a la que, una vez encendidos los vapores del combustible, éstos continúan por sí mismos el proceso de combustión.

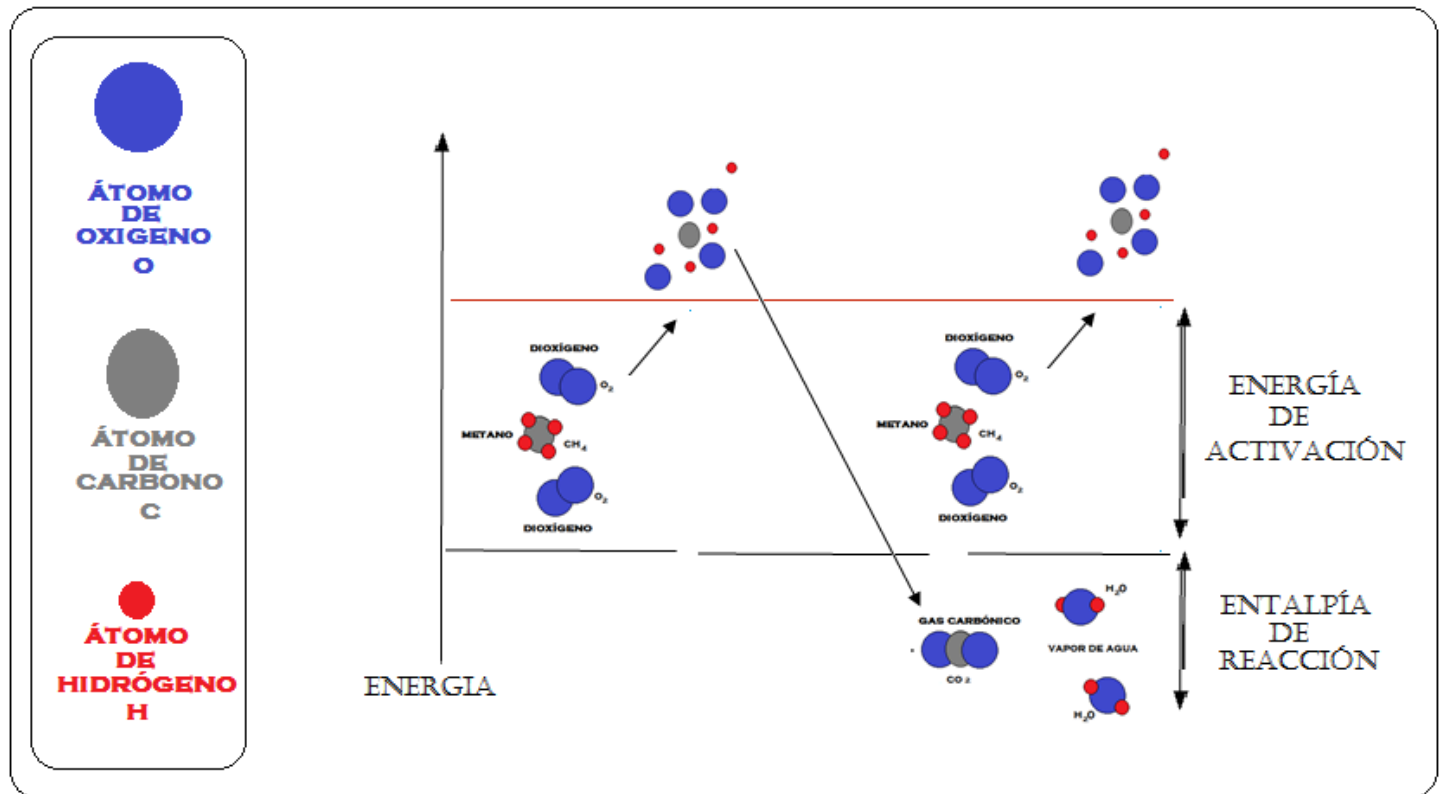
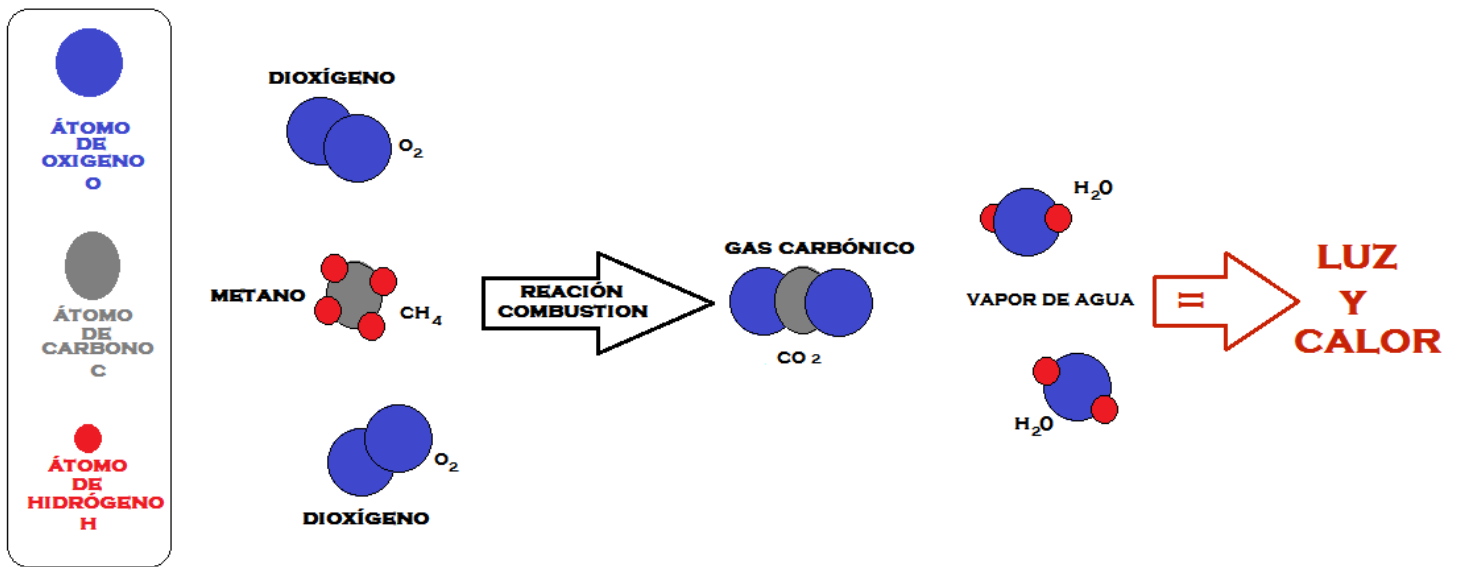
Ecuación química:



Reacción de combustión.

(Combustión de hidrocarburos (alcanos) con O₂.)





3.- TRANSFERENCIA DE CALOR

La **transferencia de calor** es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, *la transferencia de energía térmica*, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la segunda ley de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta.

3.1.-Modos De Transferencia.

Los modos de transferencia son diferentes procesos de transporte de calor, usualmente se agrupan en tres tipos según haya también transferencia o no transferencia de materia (o fotones) como los siguientes:

Conducción: Es la transferencia de calor que se produce a través de un medio estacionario que puede ser un sólido- cuando existe una diferencia de temperatura.

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes. En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria. Con la ayuda de

ordenadores (computadoras) analógicos y digitales, estos problemas pueden resolverse en la actualidad incluso para cuerpos de geometría complicada.

La **conducción de calor** o **transmisión de calor por conducción** es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

La transmisión de calor por conducción, entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo, es el intercambio de energía interna, que es una combinación de la energía cinética y energía potencial de sus partículas microscópicas: moléculas, átomos y electrones. La conductividad térmica de la materia depende de su estructura microscópica: en un fluido se debe principalmente a colisiones aleatorias de las moléculas; en un sólido depende del intercambio de electrones libres (principalmente en metales) o de los modos de vibración de sus partículas microscópicas (dominante en los materiales no metálicos).¹

Para el caso simplificado de flujo de calor estacionario en una sola dirección, el calor transmitido es proporcional al área perpendicular al flujo de calor, a la conductividad del material y a la diferencia de temperatura, y es inversamente proporcional al espesor:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{kA}{x}(T_1 - T_2)$$

Donde:

- $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ Es el calor transmitido por unidad de tiempo.
- k (o λ) Es la conductividad térmica.
- A Es el área de la superficie de contacto.
- $(T_1 - T_2)$ Es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frío.
- x Es el espesor del material.

LEY DE FOURIER

La conducción térmica está determinada por la ley de Fourier, que establece que el flujo de transferencia de calor por conducción en un medio isótropo es proporcional y de sentido contrario al gradiente de temperatura en esa dirección. De forma vectorial:

$$\mathbf{q} = -k\nabla T$$

Donde:

- $\mathbf{q}$: es el vector de flujo de calor por unidad de superficie (W m^{-2}).
- k : es una constante de proporcionalidad, llamada conductividad térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$).
- ∇T : es el gradiente del campo de temperatura en el interior del material (K m^{-1}).

De forma integral, el calor que atraviesa una superficie S por unidad de tiempo viene dado por la expresión:

$$\frac{dQ_S}{dt} = \int_S \mathbf{q} \cdot d\mathbf{S} = -k \int_S \nabla T \cdot d\mathbf{S}$$

El caso más general de la ecuación de conducción, expresada en forma diferencial, refleja el balance entre el flujo neto de calor, el calor generado y el calor almacenado en el material³

$$\alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\dot{q}_G}{\rho C_p} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

Donde:

- $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$: es la difusividad térmica,
- $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$: es el operador laplaciano del campo de temperatura, que mide el flujo neto de calor,
- $\dot{q}_G$: es el calor generado por unidad de volumen,
- ρ : es la densidad del material,
- C_p : es el calor específico del material,
- $\frac{\partial T}{\partial t}$: es la variación de temperatura con el tiempo.

La ecuación de conducción, que es un caso particular de la ecuación de Poisson, se obtiene por aplicación del principio de conservación de la energía.

CONVECCIÓN: La convección es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido, por ejemplo: al trasegar el fluido por medio de bombas o al calentar agua en una cacerola, la que está en contacto con la parte de abajo de la cacerola se mueve hacia arriba, mientras que el agua que está en la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida).

En la transferencia de calor libre o natural un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del Enfriamiento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{inf})$$

Donde h es el coeficiente de convección (o *coeficiente de película*), A_s es el área del cuerpo en contacto con el fluido, T_s es la temperatura en la superficie del cuerpo y T_{inf} es la temperatura del fluido lejos del cuerpo.

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se

denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima. De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior —que está más frío— desciende, mientras que al aire cercano al panel interior —más caliente— asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija hacia el radiador. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima. De la misma forma, la convección natural es responsable de la ascensión del agua caliente y el vapor en las calderas de convección natural, y del tiro de las chimeneas. La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie.

RADIACIÓN: Se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. En ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica. En 1905, Albert Einstein sugirió que la radiación presenta a veces un comportamiento cuantizado: en el efecto fotoeléctrico, la radiación se comporta como minúsculos proyectiles llamados fotones y no como ondas. La naturaleza cuántica de la energía radiante se había postulado antes de la aparición del artículo de Einstein, y en 1900 el físico alemán Max Planck empleó la teoría cuántica y el formalismo matemático de la mecánica estadística para derivar una ley

fundamental de la radiación. La expresión matemática de esta ley, llamada distribución de Planck, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo. Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante. Sólo un cuerpo ideal (cuerpo negro) emite radiación ajustándose exactamente a la ley de Planck. Los cuerpos reales emiten con una intensidad algo menor.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. Como puede demostrarse a partir de la ley de Planck, el poder emisor de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. El factor de proporcionalidad se denomina constante de Stefan-Boltzmann en honor a dos físicos austriacos, Joseph Stefan y Ludwig Boltzmann que, en 1879 y 1884 respectivamente, descubrieron esta proporcionalidad entre el poder emisor y la temperatura. Según la ley de Planck, todas las sustancias emiten energía radiante sólo por tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla. Por eso, aunque un cubito de hielo emite energía radiante de forma continua, se funde si se ilumina con una lámpara incandescente porque absorbe una cantidad de calor mayor de la que emite.

Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda. Una consecuencia de la distribución de Planck es que la longitud de onda a la que un cuerpo emite la cantidad máxima de energía radiante disminuye con la temperatura. La ley de desplazamiento de Wien, llamada así en honor al físico alemán Wilhelm Wien, es una expresión matemática de esta observación, y afirma que la longitud de onda que corresponde a la máxima energía, multiplicada por la temperatura absoluta del cuerpo, es igual a una constante, 2.878 micrómetros-Kelvin. Este hecho, junto con las propiedades de transmisión del vidrio antes mencionadas, explica el calentamiento de los invernaderos. La energía radiante del Sol, máxima en las longitudes de onda visibles, se transmite a través del vidrio y entra en el invernadero. En cambio, la energía emitida por los cuerpos del interior del invernadero, predominantemente de longitudes de ondas mayores, correspondientes al

infrarrojo, no se transmiten al exterior a través del vidrio. Así, aunque la temperatura del aire en el exterior del invernadero sea baja, la temperatura que hay dentro es mucho más alta porque se produce una considerable transferencia de calor neta hacia su interior.

Además de los procesos de transmisión de calor que aumentan o disminuyen las temperaturas de los cuerpos afectados, la transmisión de calor también puede producir cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua. En ingeniería, los procesos de transferencia de calor suelen diseñarse de forma que aprovechen estos fenómenos. Por ejemplo, las cápsulas espaciales que regresan a la atmósfera de la Tierra a velocidades muy altas están dotadas de un escudo térmico que se funde de forma controlada en un proceso llamado ablación para impedir un sobrecalentamiento del interior de la cápsula. La mayoría del calor producido por el rozamiento con la atmósfera se emplea en fundir el escudo térmico y no en aumentar la temperatura de la cápsula.

Se denomina **radiación térmica** o **radiación calorífica** a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de $0,1\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético.

La materia en un estado condensado (sólido o líquido) emite un espectro de radiación continuo. La frecuencia de onda emitida por radiación térmica es una densidad de probabilidad que depende solo de la temperatura.

Los cuerpos negros emiten radiación térmica con el *mismo* espectro correspondiente a su temperatura, *independientemente* de los detalles de su composición. Para el caso de un cuerpo negro, la función de densidad de probabilidad de la frecuencia de onda emitida está dada por la ley de radiación térmica de Planck, la ley de Wien da la frecuencia de radiación emitida más probable y la ley de Stefan-Boltzmann da el total de energía emitida por unidad de tiempo y superficie emisora (esta energía depende de la cuarta potencia de la temperatura absoluta).

A temperatura ambiente, vemos los cuerpos por la luz que reflejan, dado que por sí mismos no emiten luz. Si no se hace incidir luz sobre ellos, si no se los ilumina, no podemos verlos. A temperaturas más altas, vemos los cuerpos debido a la luz que emiten, pues en este caso son luminosos por sí mismos. Así, es posible determinar la temperatura de un cuerpo de acuerdo a su color, pues un cuerpo que es capaz de emitir luz se encuentra a altas temperaturas.

La relación entre la temperatura de un cuerpo y el espectro de frecuencias de su radiación emitida se utiliza en los pirómetros.

Tipos de radiaciones:

- Radiación De Radio
- Radiación De Microondas
- Radiación Infrarroja
- Radiación Visible
- Radiación Ultravioleta
- Radiación X
- Radiación Gamma (es la que emite más energía y la más peligrosa)

La aplicación de la Ley de Planck a la Tierra con una temperatura superficial de unos 288 K (15 °C) nos lleva a que el 99% de la radiación emitida está entre las longitudes de onda 3 μm (micrómetros o micras) y 80 micras y su máximo ocurre a 10 micras. La estratosfera de la Tierra con una temperatura entre 210 y 220 K radia entre 4 y 120 micras con un máximo a las 14,5 micras. Por tanto la Tierra sólo emite radiación infrarroja o térmica.

La **ley de Planck**: describe la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico en una temperatura definida. La ley lleva el nombre de Max Planck, quien la propuso originalmente en 1900. Se trata de un resultado pionero de la física moderna y la teoría cuántica.

La intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro (o radiancia espectral) con una cierta temperatura T y frecuencia ν , $I(\nu, T)$, viene dada por la **ley de Planck**:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

El siguiente cuadro muestra la definición de cada símbolo en unidades de medidas del SI y CGS:

Símbolo	Significado	Unidades SI	Unidades CGS
I, I'	<i>Radiancia espectral</i> , o es la cantidad de energía por unidad de superficie, unidad de tiempo y unidad de ángulo sólido por unidad de frecuencia o longitud de onda (tal como se especifique)	$\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}$	$\text{erg cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$
ν	frecuencia	hercios (Hz)	hercios
λ	longitud de onda	metro (m)	centímetros (cm)
T	temperatura del cuerpo negro	kelvin (K)	kelvin
h	Constante de Planck	julio x segundo (J s)	ergio x segundo (erg s)
c	velocidad de la luz	metros / segundo (m / s)	centímetros / segundo (cm / s)
e	base del logaritmo natural, 2,718281 ...	adimensional	adimensional
k	Constante de Boltzmann	julios por kelvin (J / K)	ergios por kelvin (erg / K)

La expresión $I(\nu)\delta\nu$, se define como la cantidad de energía por unidad de área, unidad de tiempo y unidad de ángulo sólido emitida en el rango de frecuencias entre ν y $\nu + \delta\nu$.

La longitud de onda en la que se produce el máximo de emisión viene dada por la ley de Wien y la potencia total emitida por unidad de área viene dada por la ley de Stefan-Boltzmann. Por lo tanto, a medida que la temperatura aumenta el brillo de un cuerpo cambia del rojo al amarillo y al azul.

Es común encontrar en la literatura la radiancia espectral del cuerpo negro definida también como $B_\nu(T)$.

4.- FASES DEL INCENDIO

Se ha discutido mucho sobre las etapas de un incendio pero por ser un tema muy extenso, el mismo que vamos a estudiar en otras publicaciones, solo lo estudiaremos con el concepto inicial de tres etapas:

Primera Fase:

Inicial o Incipiente.

Segunda Fase:

Generación de llamas (Combustión Libre).

Tercera Fase:

De rescoldo o latente (Arden sin llamas).

Fase Inicial.

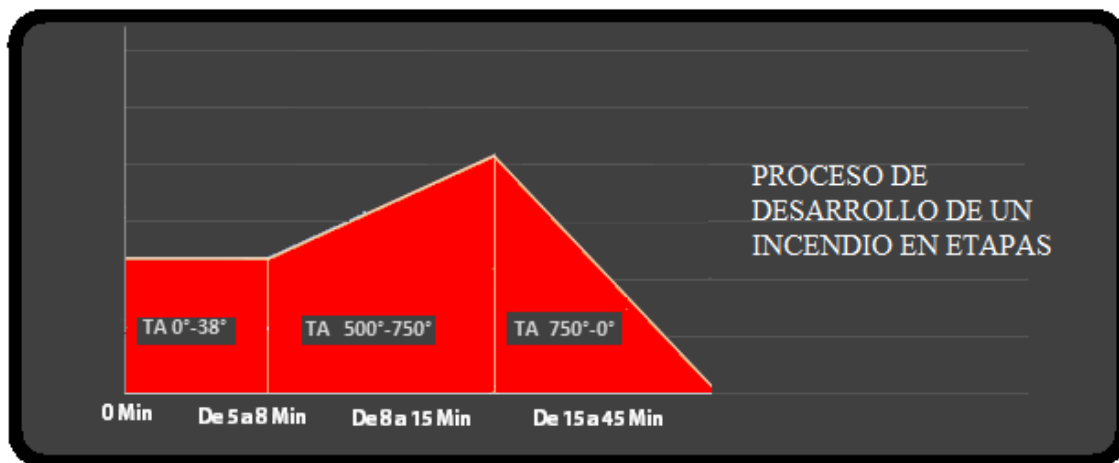
- En esta fase la disponibilidad de oxígeno es abundante, la temperatura aún no ha llegado a su punto máximo, la corriente térmica sube y se acumula en la parte superior, la respiración no es aún difícil.
- La extinción del fuego no resulta difícil ya que se puede acceder al fuego y extinguir con agua u otro agente extintor.
- Temperatura ambiente 38°.
- Disponibilidad de oxígeno del aire 20%.

Generación De Llamas (Combustión Libre).

- El fuego va consumiendo todos los combustibles, el abastecimiento de oxígeno está siendo disminuido, el calor se acumula en las partes superiores, respiración difícil, uso de equipos de protección y respiración obligatorio.
- Extinción por medio de agua con buena producción de neblina.
- Temperatura ambiente 750°.
- Reducción considerable del oxígeno del aire.

De rescoldo o latente (Arden sin llamas).

- Temperaturas muy altas que sobrepasan las temperaturas de ignición, generación de grandes porcentajes de humos y gases, respiración normal imposible, la diferencia de oxígeno puede generar una explosión de humo.
- Extinción por método indirecto, ventilación adecuada y producción de vapor por medio de chorros de neblina.
- Temperatura ambiente 600°.
- Disponibilidad de oxígeno menor al 15%.
- Gran acumulación de humos y gases.



5.- FENÓMENOS MÁS COMUNES DEL FUEGO.

Estudiaremos los fenómenos más comunes que podríamos encontrar en el ejercicio de nuestra profesión teniendo en cuenta que estos mismos pueden presentarse como elemento único o dentro del proceso de un mismo incendio algunos de estos fenómenos dependiendo principalmente de la materia en reducción, estructuras en el cual se desarrolle, temperaturas ambientes etcétera.

5.1 COMBUSTIÓN SÚBITA GENERALIZADA (FLASHOVER)

Es un fenómeno que se observa en incendios confinados en los cuales de forma repentina todas las superficies combustibles, que hasta ese momento no estaban implicadas en el incendio, comienzan a arder a consecuencia de la radiación proveniente de las llamas que recorren el techo (*rollover*) provocando que todo el volumen del recinto sea ocupado por las llamas. Este fenómeno marca el máximo desarrollo del incendio, generándose radiaciones de hasta 170 kW/m^2 que no pueden ser soportadas por un ser humano ni equipado con un traje de intervención de bombero.

Condiciones necesarias.-

Para que se produzca este fenómeno es necesario que el incendio se encuentre adecuadamente ventilado, siendo otros factores que influyen el combustible implicado en el incendio, la altura del techo y la capacidad del recinto para contener una bolsa de gases. En habitaciones normales, los gases y otros productos de la combustión se acumularan bajo el techo al menos hasta la altura del dintel de una puerta o de la abertura situada a mayor altura. Serán estos gases los que al arder generen la radiación suficiente para provocar la ignición de los combustibles de los planos inferiores.

Se han realizado múltiples experimentos, coincidiendo la mayoría de la bibliografía en marcar la radiación necesaria para que se produzca el fenómeno en 20 kW/m^2 a la altura de la superficie de los combustibles, o bien una temperatura de 600°C de la capa de gases. Este fenómeno se encuadra dentro del **Desarrollo Rápido del Incendio** (en inglés, *Rapid Fire Progress*), que es aquel que provoca un desarrollo anormalmente rápido del incendio, como son el backdraft, la explosión de humo, la auto ignición de los gases del incendio y otros que suponen un importante riesgo.

En la escena del incendio es posible observar indicios que advierten del desarrollo de las condiciones necesarias para que se produzca este fenómeno. Por orden de inminencia se pueden citar:

Índices del fenómeno.-

- Llamas que corren por el techo (se dan las condiciones).
- Emisión de vapor de agua de las superficies combustibles como paso previo a la pirolisis de las mismas (se puede producir en pocos minutos o segundos)
- Súbito aumento del calor radiante, descenso del plano neutro, comienzan a arder objetos próximos al origen del fuego (inminente o ha comenzado)

Discrepancia sobre el término.-

La norma UNE EN 13.943, sobre terminología de protección contra incendios, define este fenómeno como la “transición al estado de combustión generalizada de las superficies del conjunto de materiales combustibles de un recinto.”

Una definición más completa es la ofrecida por la NFPA donde se define como la “fase de transición en el desarrollo de un incendio confinado en la cual las superficies expuestas a radiación térmica alcanzan la temperatura de ignición más o menos simultáneamente y el fuego se propaga rápidamente a través de todo el recinto dando como resultado que todo el compartimento se ve involucrado en el incendio.”

La primera referencia conocida al término FLASHOVER se hace en la 10.^a edición del Manual de para la Protección de Incendios de la NFPA (FPH) en 1948 siendo acuñada por el Dr. Philip H. Thomas, que posteriormente en el año 1967 aportó la primera discusión científica sobre el fenómeno en la nota 663 del UK Fire Research.

Definición sueca de Flashover.-

En los años 80, ingenieros suecos acuñaron una terminología basada en el término FLASHOVER al estudiar el comportamiento de la capa de gases de los incendios sobre la que existe una gran confusión, principalmente debida al trasiego de traducciones sueco-inglés-sueco y posteriormente al español.

- “Flashover Pobre” – equivale a Rollover
- “Flashover Rico” – equivale a Backdraft
- “Flashover Retrasado” – equivale a Explosión de humo
- “Flashover Rico y Caliente” – equivale a Auto Ignición

Esta terminología está completamente en desuso en Suecia imponiéndose la recogida por la ISO en aras a la estandarización, tendencia ya recogida en el Manual de Incendios Confinados editado por la Agencia Sueca de Servicios de Rescate en 2001.

ETAPAS DE UN FLASHOVER:

- 1.- Ignición
- 2.- Crecimiento
- 3.- Previo Al Flashover
- 4.- Flashover
- 4.- Desarrollo completo
- 5.- Disminución

IGNICIÓN.-

- ▶ Período en que los 4 elementos del tetraedro del fuego coinciden y se inicia la combustión.
- ▶ Ignición guiada: causada por elemento externo como chispa o llama.
- ▶ Ignición no guiada: Causado cuando el material llega a su punto de ignición como resultado de la auto-inflamación.
- ▶ Incendio pequeño circunscrito al material combustible

CRECIMIENTO.-

Al principio, la temperatura de los gases del fuego disminuye a medida que éstos se desplazan lejos de la línea central del penacho.

A medida que el incendio se propaga, la temperatura general del compartimiento aumenta al igual que la temperatura de la capa de gas en el nivel del techo.

PREVIO AL FLASHOVER.-

El calor radiante de las capas de gas caliente del techo calienta a los materiales combustibles, lo que produce los vapores.

FLASHOVER.-

Explosión espontánea tipo flamazo.

DESARROLLO COMPLETO.-

Un incendio completamente desarrollado

DISMINUCIÓN.-

A medida que el incendio consume el combustible disponible en el compartimiento, la tasa de liberación de calor empieza a disminuir.

5.2.-BACKDRAFT.

Llamado también *explosión de gases de humo con efecto reverso o explosión con flujo reverso*, es una situación que puede ocurrir cuando un fuego necesita oxígeno; por lo cual la combustión cesa pero sigue habiendo gases y humo combustible con temperatura alta.

Si el oxígeno se reintroduce, por ejemplo abriendo una puerta en un cuarto cerrado, la combustión puede recomenzar dando por resultado un efecto explosivo, dado que los gases se calientan y aumentan su volumen súbitamente. Este efecto es la base para la explosión del humo.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

Las señales características que lo preceden incluyen el humo amarillo o marrón, el humo que emana de los agujeros pequeños de las salidas en los soplos - una clase de efecto de respiración - y que se encuentran a menudo alrededor de los bordes de puertas y ventanas que aparecen marrones o negras cuando se ven desde el exterior.

Estos colores más oscuros son causados por la combustión incompleta. Si el cuarto contiene muchos rastros de hollín, indica que carece de bastante oxígeno para permitir la combustión. Es recomendable identificar si hay hollín en el interior de ventanas y en grietas alrededor del cuarto. Las ventanas pueden agrietarse debido al calor. Las ventanas de la estructura pueden también tener una vibración leve debido a los diferenciales de presión. El ambiente circundante estará extremadamente caliente.

Si se descubren un cuarto que "respira", es decir, exhala humo para volver a inhalarlo por la misma vía, por ejemplo a través de una grieta o debajo de una puerta, deben evacuar inmediatamente, porque esto es una indicación de que el backdraft es inminente. Debido a los diferenciales de presión, estos soplos de humo "se aspiran a veces" nuevamente dentro del espacio incluido del cual emanan, que es donde el término "backdraft" se origina.

También una explosión por flujo reverso o backdraft se caracteriza por que en el interior del cuarto se escuchan sonidos sordos (sin eco) esto es porque el cuarto está lleno de humo y este ocupa el espacio haciendo que no exista el mínimo eco y por qué al tocar una puerta está caliente en su totalidad como antes se mencionó la salida y entrada de humo es uno de los que más indican que habrá un backdraft.

DESACTIVACIÓN DE UN POTENCIAL BACKDRAFT

La táctica más común usada en la desactivación de un backdraft potencial es ventilar desde el punto más alto, permitiendo que el calor y el humo se escapen sin encenderse de manera explosiva.

También se puede ventilar por lapsos cortos de tiempo, es decir, que el oxígeno entre de manera "leve" hasta que pueda volver a incendiarse sin un efecto de explosión dentro del área confinada. Es poco utilizado este método ya que necesita mucha precisión y es muy arriesgado, pero efectivo.

OTROS CONCEPTOS:

Conocido en el Reino Unido como **backdrought** y recogido como **contratiro** en la edición en español de la NFPA, consiste en una deflagración de gases combustibles que se da en incendios que se desarrollan en recintos cerrados con poca o nula ventilación y cuyo desencadenante es un aporte de aire fresco del exterior que facilita que el fuego latente del interior se reavive levantando llamas y actúen como fuente de ignición de la capa de gases.

El fenómeno de backdraft no aparece recogido en los estándares ISO, aunque sí está definido por la NFPA como *“la explosión, o rápida combustión, de los gases calientes que ocurre cuando se introduce oxígeno en el interior de una construcción que no ha sido apropiadamente ventilada y en la que se ha agotado el oxígeno debido al fuego”*.

Por otro lado tenemos el término **explosión de humo**, que viene recogido en la norma americana como sinónimo de backdraft.

Sin embargo, existe una corriente de autores que distinguen un fenómeno distinto, circunscribiendo el backdraft al fenómeno cuyo proceso requiere una corriente de aire hacia el interior del recinto que activa una fuente de ignición en el interior, mientras que la explosión de humo no precisa de esa corriente de aire, pudiendo encontrar los gases la fuente de ignición en el exterior del recinto donde se ha producido el incendio.

Forward-induced explosion³

Con este término se describe la inflamación de bolsas de gases que se han desplazado fuera del compartimento donde se generaron, siendo el elemento diferenciador que los gases que salen al exterior de forma violenta por algún motivo, como por ejemplo que haya colapsado el techo del recinto donde se produce el incendio, al mezclarse con el aire entran en rango de inflamabilidad.

Existen más términos como son:

Flash back, gas combustión, smoke, gas explosión, fire gas explosión, etc.

Científicamente solo están reconocidos los términos flash over y backdraft, a los que se añade otra categoría, **fire gas ignition**, en la que entran el resto de fenómenos y de los que solo unos pocos están aceptados formalmente.

Fire gas ignition, cuya traducción sería “ignición de los gases del incendio”, engloba un amplio abanico de fenómenos que se agrupan bajo esta clasificación y de forma general se pueden definir como *“la ignición de gases y productos de la combustión, que se encuentran, o son llevados, a un estado en el que son inflamables”*. La ignición es causada por la introducción de una fuente de ignición en una mezcla que se encuentra en el rango de inflamabilidad o cuando los gases que se encuentran por encima del LSI encuentran un lugar en el que mezclarse con oxígeno en presencia de una fuente de ignición.

Estamos ante una variedad de fenómenos que suponen un cambio más o menos brusco en el desarrollo del incendio debido a factores derivados de la configuración del recinto donde se desarrolla y al cambio en las condiciones de ventilación, motivo por el cual las autoridades de EEUU los han englobado bajo el término **Rapid Fire Progress**.

A ello también ha contribuido la necesidad de clasificar estos fenómenos para su anotación estadística por parte de los servicios de bomberos, teniendo en cuenta que es muy difícil determinar en el momento cuál ha sido el proceso concreto, por lo que se encuadran en esta categoría genérica hasta su posterior investigación.

Con respecto a la distinta terminología existente, debemos tener en cuenta que solo se consideran científicamente aceptadas las indicadas en la Tabla

Término	Traducción
RAPID FIRE PROGRESS	Desarrollo rápido del incendio
FLASH OVER	Combustión súbita generalizada
BACKDRAFT	Explosión por contratiro ⁷
FIRE GAS IGNITION	Ignición de los gases del incendio
FIRE GAS IGNITION	Ignición de los gases del incendio
SMOKE EXPLOSION	Explosión de humo
FLASH FIRE	Llamarada

5.3.-ROLLOVERO FLAMEOVER

Es el término con el que se denomina un fenómeno que se observa en incendios en los que la capa de gases producto de la combustión acumulada bajo el techo se inflaman de forma que las llamas corren por el techo. Este fenómeno se considera el paso previo para alcanzar las condiciones necesarias para que se produzca un flashover o combustión súbita generalizada ya que supone un aumento significativo de la radiación.

CONDICIONES ESPECÍFICAS:

La ignición de los gases combustibles acumulados bajo el techo, es necesario que alcancen la temperatura de ignición espontánea, alrededor de los 605 °C para el CO, o bien al alcanzar las llamas de la capa de gases sirviendo esta de fuente de ignición. También es posible observar este fenómeno, aunque no está reflejada en las definiciones, cuando el techo está constituido por materiales combustibles (como en casas de madera), de forma que no es necesario que exista acumulación de gases ya que las llamas son producidas por el combustible sólido del techo.

OTROS CONCEPTOS:

La NFPA define rollover y flameover como el mismo fenómeno señalando que es “la condición donde el combustible sin combustionar (pirolizado) desde el origen del fuego se ha acumulado en la capa del techo en una concentración suficiente que se ignición y arden; puede ocurrir sin, o previamente a, la ignición de otros combustibles separados del origen”, traduciendo este término en su versión en español como *llamas por el techo*. La normativa ISO no recoge este término en su vocabulario de protección contra incendios. Según la escuela sueca correspondería al flashover pobre, aunque es esta terminología está en desuso a favor de la estándar ISO.

5.4.- BLEVE.- "*BOILING LIQUID EXPANDING VAPOUR EXPLOSION*" (Explosión De Vapores Que Se Expanden Al Hervir El Líquido).

Este tipo de fenómeno ocurre en tanques que almacenan gases licuados a presión y sobrecalentados, en los que por ruptura o fuga del tanque, el líquido del interior entra en ebullición y se incorpora masivamente al vapor en expansión.

Es decir que producto de la temperatura los líquidos que están dentro de un tanque alcanzan su punto de ebullición, se convierten de líquidos a gaseosos, sabiendo que al realizarse este cambio de estados el elemento se expande y causa una presión interna al tanque el mismo que es liberado por la válvula de alivio del contenedor (si el envase no tuviera válvula de alivio, esta presión causa que el metal se deforme y llegue a su punto de quiebre.), el líquido que absorbe la energía calórica externa, realiza este proceso de transformación y descompresión hasta que el nivel del líquido baja más que el nivel del punto de transferencia térmica, al no tener líquido que absorba la energía calórica esta es absorbida directamente por el recipiente el mismo que se debilita y termina cediendo al aprecian interna de los gases expandidos..

La causa más frecuente de este tipo de explosiones es debida a un incendio externo que envuelve al tanque presurizado, lo debilita mecánicamente, eleva la temperatura del líquido contenido y aumenta la presión dentro del tanque. Llega un punto en que la presión alcanza valores que el recipiente no puede soportar, produciendo una fisura o ruptura del mismo. Esto ocasiona un súbito descenso de la presión, comienza el proceso de nucleación espontánea y todo el líquido contenido cambia su estado a gaseoso en forma virtualmente instantánea, aumentando su volumen cientos o miles de veces.

Si el vapor liberado corresponde a un producto inflamable, se genera una bola de fuego también en expansión. Si el producto no es inflamable igual ocurre la explosión tipo BLEVE; la onda expansiva de sobrepresión ocurre cuando el líquido se convierte en gas, su volumen cambia dramáticamente (leyes de Gay-Lussac y de Boyle) lo que causa esta onda de sobrepresión. La combustión del contenido ocurrirá siempre que el producto contenido sea combustible e inflamable, pero esta es una segunda explosión que es otro fenómeno conocido como "Explosión de Vapores No Confinados" o en inglés "Unconfined Vapour Cloud Explosion" (UVCE) y es consecuencia del BLEVE y no parte de él.

En una BLEVE se manifiestan las siguientes consecuencias físicas:

- **Sobrepresión por la onda expansiva:** la magnitud de la onda de sobrepresión depende de la presión de almacenamiento, del calor específico del producto implicado y de la resistencia mecánica del depósito.
- **Proyección de fragmentos:** la formación de proyectiles suele limitarse a fragmentos metálicos del tanque y a piezas cercanas a éste. Se trata de una consecuencia difícilmente predecible, y los fragmentos pueden proyectarse a varios cientos de metros, e incluso a miles de metros.
- **Radiación térmica de la bola de fuego:** la radiación infrarroja de la bola de fuego suele tener un alcance mayor que el resto de efectos, y es la que causa más daños. El alcance de la radiación depende del tipo y cantidad de producto almacenado, y de la temperatura y humedad relativa ambiental.

También puede producirse el denominado efecto dominó cuando los efectos alcanzan otras instalaciones o establecimientos con sustancias peligrosas, pudiéndose generar en ellos nuevos accidentes secundarios que propaguen y aumenten las consecuencias iniciales.

Existen diversos modelos físicos propuestos por el TNO que permiten estimar la magnitud de cada tipo de consecuencias. Este efecto fue estudiado a mediados del siglo XX por el ingeniero español de la compañía Butano, S.A. (Hoy Repsol Butano) D. Narciso Belinchón, siendo pionero en el estudio de este tipo de siniestros.

5.5.- REBOSAMIENTOS DE LÍQUIDOS COMBUSTIBLES.

Dentro de los fenómenos fisicoquímicos devastadores de incendio tienen ganada su reputación los “rebosamientos” en incendios de líquidos combustibles.

En muchos países han ocurrido a consecuencia de estos siniestros y causas asociadas verdaderas catástrofes, principalmente en vidas de Bomberos, Brigadistas Industriales y personal de apoyo.

Existen tres mecanismos de rebosamientos dependiendo de ciertas causas y circunstancias:

- Rebosamiento por ebullición “BOILOVER”
- Rebosamiento superficial “SLOPOVER”
- Rebosamiento espumoso “FROTHOVER”

BOILOVER (Rebosamiento por Ebullición).

En todo incendio de tanques de almacenaje de petróleo donde haya volado el techo, producto de la explosión inicial, durante el desarrollo del siniestro las capas compuestas por las fracciones de líquidas livianas se van destilando a través de la combustión del producto; esto es visible por las grandes llamas rojas y naranjas con desprendimiento de inmensas columnas de humo negro.

El resto del componente del petróleo que son las fracciones pesadas conforman una “onda convectiva de calor” que mediante este proceso comienza en sentido inverso a descender, realizando lo que se conoce como “intercambio de capas frías por capas calientes” estas capas calientes forman la onda de calor.

Las fracciones pesadas y calientes a temperaturas de entre los 200 a 300°C aprox. Se calcula que realizan el descenso a 1 metro por hora aprox. por otro lado la zona de combustión sobre la superficie del líquido, zona de llama va quemando y descendiendo a unos 30cm por hora aprox.

Esta onda de calor convectiva al tomar contacto con el agua decantada en el fondo del tanque produce una súbita transformación a vapor supercalentado expandiéndose 1:1700 veces dependiendo de la temperatura del líquido, dando lugar al rebosamiento de todo el contenido. Pensemos que el agua en estado líquido se expande 1700 veces a 100°C y un aspecto fundamental que marca el comienzo del rebosamiento aparte del tremendo ruido como a frituras producto del contacto del agua con las capas calientes; es el súbito incremento de la temperatura y la radiación térmica entorno a toda la zona.

El combustible es lanzado fuera del tanque en una explosión violenta formando una columna ascendente que en algunos casos supera los 30 metros de altura aproximadamente expandiéndose hacia los costados hasta tomar contacto con la tierra y proseguir propagándose y trasladándose en todas direcciones destruyendo todo lo que encuentra a su paso, en algunos casos la temperatura supera los 1200°C.

TRES CONDICIONES FUNDAMENTALES DEBEN DARSE PARA QUE SE PRODUZCAN ESTOS FENÓMENOS.

1- Incendio total de un tanque con voladura del techo.

Los incendios en tanques de almacenaje se pueden dar de varias formas para este caso es decisivo que el techo haya volado a causa mayormente de la explosión inicial que dio lugar al incendio. En los tanques de techo fijo y cónico, esta parte es de suma importancia para las emergencias de incendio ya que los techos actúan como fusibles siendo la parte más débil de toda su estructura.

2- Presencia de agua en estratos o capas del combustible y en el fondo del tanque.

El agua convive continuamente con el petróleo, forma parte del mismo y siendo más pesada en los tanques de almacenaje siempre tendremos restos de agua decantada en el fondo. Pero también se forman en los estratos intermedios emulsiones de agua libre y petróleo, principalmente esto dependerá del trabajo que tuvo el depósito en tareas de llenado o bien de exportación; el agitado de los líquidos conforman estas emulsiones que son las que provocan inicialmente los slopover.

3- Desarrollo de la “onda de calor”, intercambio de capas frías por capas calientes.

Esta característica también es determinante, ya que en mono productos es poco probable que se forme la onda de calor por no existir el intercambio de capas frías por capas calientes que conectivamente desciendan hasta contactar las emulsiones de agua o el agua decantada en el fondo del tanque. Pero en productos como el petróleo estos fenómenos se producen indefectiblemente, ya que el petróleo tiene en su composición fracciones livianas y fracciones pesadas, como se menciona. Las personas a cargo de dotaciones de Bomberos o Brigadistas Industriales que deban combatir incendios de tanques de almacenaje de petróleo deben dar por hecho que estos fenómenos se producirán. En consecuencia están obligados a tomar las medidas de seguridad, prevención y contingencia para evitar serios desastres y accidentes entre el personal. Para tener en cuenta la importancia y el papel determinante que tiene la onda de calor; un incendio en un tanque de petróleo a la vera de un camino en el estado de Texas, USA; los Bomberos habían extinguido el incendio y en momentos que creían haber finalizado se produjo el Boilover, la onda de calor a pesar que en la superficie las llamas se extinguieron, continuo descendiendo en la intimidad del tanque y através del producto hasta tomar contacto con el agua y rebosar todo el petróleo fuera del depósito, varios bomberos resultaron con quemaduras.

SLOPOVER (REBOSAMIENTO SUPERFICIAL).

Este fenómeno tiene la misma mecánica de producción que el Boilover, y como se menciona se produce en líquidos combustibles como el petróleo que tiene varios componentes, unos livianos y otros más pesados con distintas temperaturas de destilación.

Tras el incendio y el intercambio de capas frías por capas calientes que dan lugar a la formación de la onda de calor; esta puede encontrarse durante su descenso con estratos de agua o emulsión de agua/petróleo a distintas distancias debajo de la superficie; la onda convectiva toma contacto con estas capas de agua libre, produciendo un rebosamiento superficial con derrames parciales, sin grandes consecuencias de propagación. Este proceso se puede volver a repetir, en tal sentido los bomberos no deben confiarse que se haya producido el Boilover, pues el incendio continua hasta la etapa que la onda de calor llega a contactar con el agua decantada en el piso del tanque de petróleo donde ahí se produce el Boilover que es el fenómeno más desbastador.

FROTHOVER (REBOSAMIENTO ESPUMOSO).

El Frothover se produce con una mecánica similar al Boilover y el Slopover, siempre se repite el mismo proceso que básicamente es el contacto del agua que queda decantada en los tanques de almacenaje con ondas de calor o con producto caliente a temperaturas superiores a los 100°C como lo es el caso del Frothover.

Este fenómeno es el rebosamiento de una espuma vapor/aceite que se esparce en torno al tanque, en el Frothover puede que debido a la temperatura y a la tensión de vapor del combustible tengamos presencia de llama o por la gran generación de vapor de agua se produzca una atmosfera inerte que no permita la formación de llamas.

El mismo se puede producir en mono productos y productos con cierta viscosidad como ser aceites minerales y que en sus procesos puedan almacenarse a temperaturas elevadas, justamente por la característica de viscosidad como lo son por ejemplo los asfaltos, alquitranes etc.

En consecuencia el accidente puede ser debido a una mala maniobra de proceso y no a causa del incendio.

Observación de las señales externas en la onda de calor.

La destrucción y decoloración de las virolas de chapa de las paredes nos orientan a que distancia se puede encontrar viajando la onda de calor.

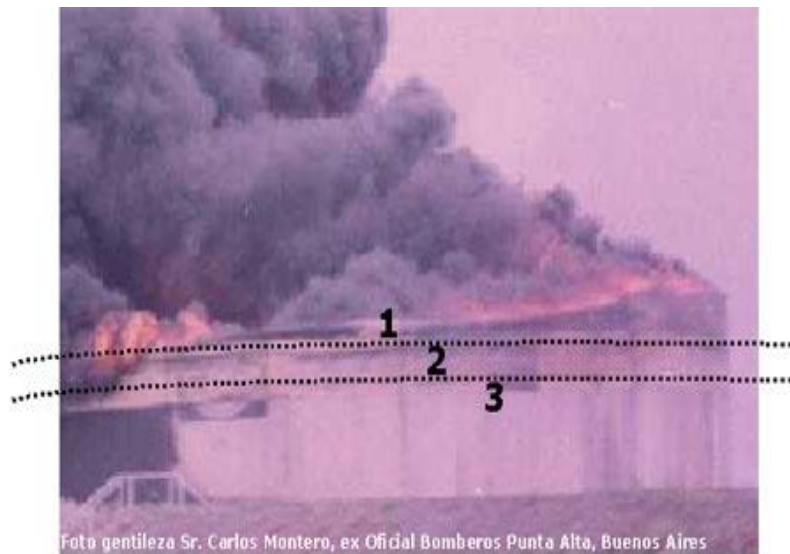


Foto gentileza Sr. Carlos Montero, ex Oficial Bomberos Punta Alta, Buenos Aires

- 1- zona de combustion a partir de la superficie del liquido, descendiendo 30cm/hora aprox.
- 2- zona de liquido a gran temperatura
- 3- zona de avance de la onda de calor mayormente es un descoloramiento por alta temperatura sin llegar a quemarse.



Marca que representa el nivel de liquido al momento del boilover esta foto pertenece a uno de los tanques aledaños.

Base del tanque

Foto gentileza Sr. Carlos Montero, Punta Alta, Buenos Aires

5.6.-FLASH FIRE

Un **incendio repentino** es un repentino e intenso, el fuego causado por la ignición de una mezcla de aire y sustancias inflamables dispersa como un sólido (incluyendo polvo), inflamable o combustible líquido (tal como un aerosol o niebla fina), o un gas inflamable. Se caracteriza por alta temperatura, de corta duración, y un rápido movimiento de la llama frente.

Definición:

Un incendio repentino se define por CGSB 155,20-2.000 y NFPA 2113 como:

"Un frente de llama que se mueve rápidamente que puede ser una explosión de combustión. Incendio repentino puede ocurrir en un ambiente donde el combustible y el aire se mezclen en concentraciones adecuadas para la combustión ... fuego flash tiene un flujo de calor de aproximadamente $84 \text{ kW} / \text{m}^2$ durante períodos de tiempo relativamente cortos, por lo general menos de 3 segundos".

Características:

El flash se dispara pueden ocurrir en entornos en los que el combustible, gas o polvo normalmente inflamable, se mezcla con el aire en concentraciones adecuadas para la combustión.

En caso de incendio flash, la llama se propaga en subsónica velocidad, por lo que la sobrepresión daño es generalmente despreciable y la mayor parte de los daños proviene de la radiación térmica y los incendios secundarios. Cuando se inhala, el aire caliente resultante de un incendio repentino puede causar graves daños a los tejidos de los pulmones, que puede dar lugar a la muerte por asfixia. El flash se dispara pueden provocar quemaduras de humo.

Fuego Flash es un peligro especial en espacios cerrados, ya que incluso un relativamente pequeño fuego puede consumir suficiente oxígeno y producir suficiente humo para causar la muerte de las personas que se encuentren, ya sea por asfixia o por inhalación de humo.

Ropa de protección hecha de materiales ignífugos (por ejemplo Nomex) reduce o evita la lesión térmica en las áreas del cuerpo que están cubiertos por el material ignífugo. Incluso la ropa normal puede proporcionar una protección parcial.

Flash fire pueden ocurrir en la sala de operaciones durante la cirugía, donde la presencia de fuentes de ignición, tales como instrumentos eléctricos o láseres, un ambiente rico en

oxígeno, y vapores inflamables (por ejemplo, alcohol desinfectantes basados) puede sentar las bases para un accidente de este tipo. Si bien los incendios aparentemente pequeños no se denuncian, se dispara el flash quirúrgicas han llevado a quemar las lesiones y muertes.

Los incidentes de incendios quirúrgicos son "significativamente inferior al real", según la Comisión Conjunta. Más de la mitad de los incendios quirúrgicos suceda dentro de la vía aérea de un paciente o en la parte superior del cuerpo del paciente; alrededor del 10 por ciento de los incendios quirúrgicos realmente sucede dentro de la cavidad del cuerpo; y un cuarto de los incendios quirúrgicos sucede en otras partes del cuerpo. Alrededor del 70 por ciento se enciende por herramientas electro quirúrgicas conocidas comúnmente como Bovies, dispositivos que utilizan una corriente eléctrica de alta frecuencia para cortar el tejido o detener el sangrado. El veinte por ciento de los incendios se desató por alambres calientes, fuentes de luz, rebabas o desfibriladores. Otro 10 por ciento se desencadenó por láser (estadísticas USA).

En lo que a los pacientes se refiere, algunos se recuperan con cicatrices y daño emocional. Algunos mueren por quemaduras e inhalación de humo.

5.7.-EFECTO TRENCH.

El **efecto trinchera** es una combinación de circunstancias que pueden precipitarse un incendio hasta una superficie inclinada. Depende de dos bien conocidas pero distintas ideas: el efecto Coanda de la dinámica de fluidos (El **efecto Coanda** es la tendencia de un fluido chorro que se siente atraído por una superficie cercana) y el flashover concepto ya conocido.

El efecto Coanda es la tendencia de un flujo rápido de aire para desviar a las superficies cercanas. Presión estática de la corriente tiende a disminuir, lo que crea una diferencia de presión entre la pared y áreas alejadas de la pared. Esto dobla la corriente hacia la superficie y tiende a mantenerlo unido a esa superficie.

Flashover es un fuego generalizado repentino, que se produce cuando la mayoría de las superficies en un espacio se calientan hasta que emiten gases inflamables suficientemente caliente como para auto-Iniciarse. Antes de la inflamación generalizada, gases inflamables pueden emitirse, pero son demasiado frío para autoinflamarse.

El efecto trinchera se produce cuando un incendio se quema junto a una superficie fuertemente inclinada. Las llamas se encuentran a lo largo de la superficie, lo que demuestra el efecto Coanda. Las llamas calientan el material más arriba: se emiten gases que auto inflaman, lo que demuestra la teoría flashover. Las llamas de estas áreas son a su vez sujeta

a la influencia de techo y sopla un chorro de llamas hasta el final de la superficie inclinada. Este chorro continúa hasta que el combustible se agota.

ANTECEDENTES

El efecto zanja se hizo conocido debido a la investigación científica del fuego King Cross . El fuego comenzó en una escalera mecánica (que contiene la madera combustible) entre las líneas de Piccadilly plataformas y la sala de entrada a la estación de metro de Kings Cross St. Pancras . Muchos testigos indicaron que desde el principio, el fuego en la escalera mecánica era de un tamaño manejable: agentes de la Brigada de Bomberos y Policía de Transporte Británica indicó que el fuego parecía no más grande que una caja de cartón grande en llamas. Entre los presentes se sorprendieron cuando de repente se lanzó un chorro constante de las llamas a la sala de entrada. Este efecto trinchera no explica las explosiones repentinas que soplaban algunos sobrevivientes de sus pies.

Las llamas relativamente discretos asociados con el efecto trinchera, abrazando el espacio sobre y bajo la trinchera inclinada de los pasos de la escalera mecánica, significó que muchos viajeros vieron un fuego creciendo sin pensando que podría ser una buena idea para salir de la zona. Uno informes de sobrevivientes se acercan a la escalera mecánica y tomando nota de espeso humo negro que de repente explotó - mostrando que la principal pérdida de la vida vino de la súbita sobrecalentado explosión de gases en la combustión súbita, en lugar de las llamas precipitantes del fuego 'trinchera efecto' en sí, que alimentado la liberación y el calentamiento de esos gases. La gente en la sala de entrada en la parte superior de las escaleras mecánicas, evitando al mismo tiempo las llamas visibles, estaban esperando sin saberlo, en el camino de la eventual explosión flashover repentina alimentada por el fuego.

Lo que parece claro es que en las primeras etapas del incendio, las llamas visibles para cualquiera que no dé pie en la escalera mecánica en llamas eran una pequeña parte de la historia. La mayor parte de las llamas estaban acostados en la zanja escaleras mecánicas; sólo unos pocos visiblemente sobresalen por encima de la balaustrada . Los lados de la zanja mejorar aún más el efecto de prevención de la pérdida de calor por radiación a un lado, aislante y concentrar el calor a lo largo de la zanja estrecha. La falta de llamas visibles arrulló los servicios de emergencia en un falso sentido de seguridad. Cuando los peldaños de la escalera mecánica brillaron sobre el fuego creció de manera espectacular y encendió la mayor parte de la sala de entrada. Del HSE Salud y Laboratorio de Seguridad en Buxton encienden fuegos en 1 1/3 modelos a escala de la escalera mecánica y el billete hall / 10 escala y demostrar que el efecto de trincheras fue la causa principal de la Cruz fuego del Rey. El flashover repentino puede ser atribuido a la emisión de gas (principalmente metano) emitida desde la pirolisis de la propia escalera mecánica de madera. Cuando la concentración de gas alcanza un valor crítico (el límite inferior de inflamabilidad), el gas atrapado de repente se convierte en llamas

5.8.- EXPLOSIÓN POR PARTÍCULAS DE POLVO.

Una explosión de polvo es la combustión rápida de las partículas de polvo suspendidas en el aire en un lugar cerrado. Explosiones de polvo de carbón son un peligro frecuente en las minas subterráneas de carbón, pero pueden ocurrir explosiones de polvo donde cualquier material combustible en polvo está presente en un ambiente cerrado o, en general, en concentraciones suficientemente altas de partículas dispersas en la atmósfera de combustibles u otro medio gaseoso adecuado, tal como oxígeno molecular.

Condiciones para una explosión de polvo

Hay cuatro condiciones necesarias para una explosión de polvo o la deflagración:

- Un polvo combustible
- El polvo se suspende en el aire a una alta concentración
- No es un oxidante
- Hay una fuente de ignición

Fuentes de polvos.

Muchos materiales que son comúnmente conocidos para oxidar pueden generar una explosión de polvo, tales como el carbón, aserrín, y magnesio. Sin embargo, muchos materiales de consumo masivo también pueden dar lugar a una nube de polvo peligroso como los cereales, la harina, azúcar, leche en polvo y el polen. Muchos metales en polvo pueden formar suspensiones explosivas en el aire.

El polvo puede surgir de actividades tales como el transporte de grano y de hecho los silos de grano no tener regularmente explosiones. Extracción de carbón conduce a las fábricas de polvo y harina de carbón asimismo tener grandes cantidades de polvo de harina, como resultado de fresado. Una gigantesca explosión de polvo de harina destruyó una fábrica en Minnesota el 2 de mayo de 1878, matando a 18 trabajadores de la Washburn A Mill. Un problema similar se produce en los aserraderos y otros lugares dedicados a la carpintería.

Para soportar la combustión, el polvo también debe constar de partículas muy pequeñas con un área de alta relación de superficie a volumen, con lo que el área de la superficie colectiva o combinada de todas las partículas muy grandes en comparación con un polvo de partículas más grandes. El polvo se define como polvos con partículas de menos de aproximadamente

500 micrómetros de diámetro, pero el polvo más fino presentará un riesgo mucho mayor que las partículas gruesas en virtud de la superficie total más grande de todas las partículas.

De Las Fuentes De Ignición.

Hay muchas fuentes de ignición y una llama no tiene por qué ser el único: más de la mitad de las explosiones de polvo en Alemania en el año 2005 fueron de fuentes no llama. Las fuentes comunes de ignición incluyen

- Descarga Electrostática
- Fricción
- Arco De La Maquinaria U Otros Equipos;
- Superficies Calientes, Como Por Ejemplo, Cojinetes Sobrecalentados
- Fuego

Sin embargo a menudo es difícil determinar la fuente exacta del encendido después de la explosión. Cuando una fuente no se puede encontrar, a menudo se cita como la electricidad estática. Las cargas estáticas pueden producirse por fricción en las superficies de las partículas a medida que se mueven uno contra el otro, y se acumulan a niveles que conducen a una descarga repentina a la tierra.

Concentración.

Por debajo de un cierto valor, el límite inferior de explosividad, no es simplemente el polvo suficiente para apoyar la combustión a la velocidad necesaria para una explosión. Una cifra 20% inferior a la LEL se considera segura. Del mismo modo, si la relación de combustible/aire se incrementa por encima del límite explosivo superior no oxidante es insuficiente para permitir la combustión para continuar al ritmo necesario.

Mecanismo de explosión del polvo.

Los polvos tienen un área de superficie muy grande en comparación con su masa. Dado que quema sólo puede ocurrir en la superficie de un sólido o líquido, donde puede reaccionar con el oxígeno, esto hace que los polvos sean mucho más inflamable que los materiales a granel. Por ejemplo, una esfera de 1 kg de un material con una densidad de 1 1g/cm³ sería de alrededor de 27 cm de ancho y tienen un área de superficie de 0,3 m². Sin embargo, si se

divide en partículas de polvo esféricas 50m de diámetro que tendría un área superficial de 60 m esta área de superficie mucho mayor permite que el material a quemar se consuma mucho más rápido, y la masa muy pequeña de cada partícula permite que se convierta en el fuego con mucha menos energía que el material a granel, ya que no hay pérdida de calor a la conducción dentro del material. Cuando se enciende esta mezcla de combustible y aire, especialmente en un espacio cerrado, como un almacén o un silo, un aumento significativo de la presión se crea, a menudo más que suficiente para demoler la estructura. Incluso los materiales que se consideran tradicionalmente de la quema como no inflamable, como el aluminio, pueden producir una potente explosión cuando esta finamente dividido, y pueden ser encendidos incluso con una pequeña chispa.

Terminología.

Explosiones de polvo pueden ser clasificados ya sea primaria o secundaria según su naturaleza.

Explosiones de polvo primarias ocurren dentro de la planta de proceso o recintos similares y están generalmente controladas por el alivio de la presión a través, de conductos a la atmósfera.

Explosiones de polvo secundarios son el resultado de la acumulación de polvo dentro de la fábrica al ser perturbado y encendido por la explosión primaria, lo que resulta en una explosión no controlada mucho más peligrosa en el interior del lugar de trabajo. Históricamente, las muertes por explosiones de polvo han sido en gran parte el resultado de explosiones de polvo secundarios.

Prevención de explosiones de polvos.

Muchas investigaciones se han llevado a cabo en Europa y en otras partes para entender cómo controlar estos peligros, pero todavía se producen explosiones. Las alternativas para los procesos y las plantas haciendo más seguro dependen de la industria. En la industria de la minería del carbón, una explosión de metano puede iniciar una explosión de polvo de carbón. Polvo de piedra se extiende a lo largo de las carreteras de minas, o suspendido de bandejas en el techo, con el fin de diluir el polvo de carbón levantó por delante de la zona de

combustión por la onda de choque, hasta el punto en que no puede quemar. Minas también se pueden rociar con agua para inhibir la ignición. Algunas industrias incluyen aire del polvo de los procesos de recaudación, conocidos como "inertes". Normalmente, este utiliza nitrógeno, dióxido de carbono o argón, que son gases incombustibles y así inhibir la combustión. El mismo método se utiliza también en grandes tanques de almacenamiento donde los vapores inflamables pueden acumularse. Uso de los gases libres de oxígeno sin embargo trae un riesgo de asfixia de los trabajadores. Los trabajadores que necesitan iluminación en espacios cerrados, donde una explosión de polvo es un alto riesgo suelen utilizar lámparas diseñadas para los buceadores, ya que no tienen riesgo de producir una chispa abierta, debido a la impermeabilización.

Buenas prácticas ambientales, a saber, la eliminación de la acumulación de depósitos de polvo combustible que puede ser perturbado y conducir a una explosión secundaria, también ayudan a mitigar el problema.

Las mejores medidas de control técnico que se pueden encontrar en la Asociación de Protección Normas polvo National Fire combustibles incluyen:

- Reducción de concentración de oxidante
- Deflagración ventilación
- Contención de la presión de deflagración
- Supresión deflagración
- Venteo de deflagración a través de una retención de polvo y dispositivo de detención de llama

5.9.- TORNADO DE FUEGO

Un **remolino de fuego**, también llamado **tornado de fuego**, es un raro fenómeno en el cual el fuego, bajo ciertas condiciones (dependientes de la temperatura del aire y las corrientes), adquiere una vorticidad vertical y forma un remolino o una columna de aire de orientación vertical similar a un tornado.

Propiedades:

La mayoría de los más grandes tornados de fuego surgen a partir de incendios forestales en los cuales están presentes corrientes de aire cálido ascendentes y convergentes. Usualmente presentan de 10 a 50 metros de alto, unos pocos metros de ancho y duran solo unos minutos. Sin embargo, algunos pueden tener más de un kilómetro de alto y contener vientos superiores a los 160 km/h persistiendo así por más de 20 minutos.² Los remolinos de fuego pueden destruir árboles de hasta 15 metros de alto

Casos notables

Varios ejemplos de los efectos que puede tener un fenómeno de estas características sucedieron durante la Segunda Guerra Mundial en ciudades alemanas como en Hamburgo durante la Operación Gomorra donde murieron 43.000 personas o el famoso Bombardeo de Dresde, el cual provocó una tormenta de fuego del tamaño de una ciudad pequeña y produjo un remolino de fuego que mató entre 25.000 y 40.000 personas, además de destruir la mitad de la ciudad.

Otro ejemplo fueron los numerosos remolinos de fuego que surgieron a partir la caída de un rayo en un depósito de petróleo cerca de San Luis Obispo (California) el 7 de abril de 1926, los cuales produjeron sustantivos daños en estructuras alejadas del fuego y provocaron la muerte de mil seiscientas personas.

5.10.- TORMENTA ÍGNEA.

Una **tormenta ígnea** es el movimiento en masa del aire resultante del fuego, creando una ignición de gran intensidad en una amplia área. Es muy comúnmente un fenómeno natural, creado durante un incendio forestal, y muchos de los más grandes de estos fenómenos, como el Gran Incendio de Postigo, han sido tormentas ígneas. Una tormenta ígnea también puede ser el resultado de explosivos intencionados.

Mecanismo de funcionamiento.

Cuando un área se incendia, el aire que está sobre ésta se vuelve extremadamente caliente y sube rápidamente. El aire frío que se encuentra al nivel del suelo en el área circundante se apresura a ocupar el vacío dejado por el aire en ascenso, creando fuertes vientos que ventilan más las llamas agitándolas y proveyéndolas de más oxígeno. Esto crea una *tormenta ígnea* que se mantiene sola con temperaturas que llegan a más de 2.000 °C alimentada por el constante flujo de oxígeno.

Los experimentos con fuegos de prueba han mostrado que las tormentas ígneas pueden crear vórtices de fuego que se mueven rápidamente y pueden distribuir el fuego más allá del área del fuego original. Los vientos en algunos de estos vórtices pueden alcanzar fuerzas tornádicas, efectivamente creando un *tornado ígneo*. Estos potentes tornados pueden complicar los trabajos de los bomberos que combaten el fuego.

Una tormenta ígnea extremadamente grande puede incluso crear su propio sistema ambiental, inyectando aire hacia adentro y creando climas parecidos a tormentas eléctricas que tienden a ayudar a la propagación de las llamas.

BIBLIOGRAFÍA.

Nelson Díaz Tapia..... MONOGRAFÍA Transferencia de calor

FPH Ed. 2008.

NFPA 921 Ed. 2004.

An introduction to fire dynamics. Dougal Drysdale. 2ª Ed.

Enclosure fire dynamic. Björn Karlsson y James G. Quintiere. Ed. 2000.

www.firetactics.com

Según Fichas de Intervención en Seguridad Química (FISQ)

Varios (2004). NFPA, ed. *NFPA 921. Guide for fire and explosion investigation*. NFPA. pp. 921–14, 921–16. ISBN 978-16-1665714-7.

Varios (2007). NFPA, ed. *NFPA 921. Guía para la investigación de incendios y explosiones*. CEPREVEN. pp. 921–14. ISBN 978-84-96900-01-1.

UNE EN 13.943:2000. *Seguridad contra incendio. Vocabulario*. 2000.

Varios autores. *Fire Protection Handbook* (en inglés) (20 edición). NFPA.

Dougal, Drysdale (1999). *An Introduction to fire Dynamics* (en inglés) (2ª edición). Wiley.

Varios autores (2011). «Rollover, Flashover y Backdraft: El uso correcto y la unificación de la terminología». *Prevención de Incendios* (52).

Bosch, C.J.H. van den, Weterings, R. (1997). *Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases)*. *Yellow Book*. The Hague.

Wu, Y .; Drysdale, D. (1996). *Estudio de la propagación de las llamas hacia arriba en superficies inclinadas*, *HSE informe de investigación de contrato no. 122* . HSE . ISBN 0-7176-1289-9 .

K. Moodie, *del Rey Cross Fire: Evaluación de Daños y Análisis General de la Investigación Técnica* Fire Safety Journal, vol 18 (1992) 13-33

S. Simcox, NS Wilkes y IP Jones, *Simulación Computacional de los flujos de gases calientes del fuego en el King estación de metro de Cross Fire* Fire Safety Journal, vol 18 (1992) 49-73

K. Moodie & SF Jagger, *resultados y análisis del Libro ensayos con modelos de escala* presentada en el seminario me Mech E, *del King Cross Underground fuego: la dinámica del fuego y la organización de la seguridad* de 01 de junio 1989; ISBN 0-85298-705-6

AF Roberts, *del Rey Cross Fire: una correlación de los relatos de los testigos y los resultados del Libro investigación científica* presentada en el seminario me Mech E, *del King Cross Underground fuego: la dinámica del fuego y la organización de la seguridad* de 01 de junio 1989; ISBN 0-85298-705-6

El efecto trinchera y los incendios forestales eruptivos: lecciones de la Cruz Underground desastre del Rey. por Jason J. Sharples, A. Malcolm Gill, y John W. Dold.

Asociación de Protección Normas polvo National Fire

Manual de teoría del fuego de Jaime Sandoval G.

Manual de primera intervención al fuego. DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL ESPAÑOLA

Manual IFSTA IV edición.