

Tipos de combustión según la velocidad de propagación

La clasificación de la combustión según la velocidad de propagación es muy importante en el ámbito de la prevención y gestión de incendios, dado que las características de la propagación del fuego determinan las estrategias apropiadas para combatirlo eficazmente. La combustión es una reacción química de oxidación rápida que produce luz y calor, y puede manifestarse en varias formas dependiendo de la velocidad a la que el fuego consume el combustible y el oxígeno disponible. Aquí se explican los principales tipos de combustión basados en la velocidad de propagación:

Combustión lenta

La combustión lenta, también referida como oxidación lenta en contextos más generales, es un tipo de combustión caracterizado por su baja velocidad y ausencia de llamas visibles. Esta ocurre a temperaturas relativamente bajas pero suficientes para causar la descomposición térmica del material combustible, típicamente encontrado en materiales porosos o acumulados como muebles tapizados, pilas de ropa o en zonas estructurales de edificios. Una de las principales características de la combustión lenta es su capacidad para permanecer oculta durante períodos prolongados, lo que complica su detección temprana y aumenta el riesgo de que evolucione a un incendio más grave sin ser detectada.

Este tipo de combustión puede generar significativas cantidades de gases tóxicos y humo, incluso antes de que se desarrollen llamas abiertas, representando un serio riesgo de intoxicación por gases como el monóxido de carbono para los ocupantes de una edificación, a menudo sin que sean conscientes del peligro. Los detectores de humo estándar, diseñados principalmente para detectar humo de combustiones más activas, pueden no ser eficaces en la detección de la combustión lenta. En este contexto, los detectores de humo fotoeléctricos, que son más sensibles a las partículas grandes típicas de este tipo de fuego, son más adecuados.

Combustión simple

La combustión simple, también conocida como combustión completa, se caracteriza por ser una reacción química en la cual un combustible reacciona con un oxidante, como el oxígeno del aire, para generar productos finales como dióxido de carbono y agua, liberando energía en el proceso. Este tipo de combustión es crucial en muchas aplicaciones diarias, desde la generación de energía hasta la calefacción doméstica y la operación de motores.

La velocidad de reacción en la combustión simple es moderadamente lenta, generalmente mantenida por debajo de un metro por segundo, lo que permite una observación visual directa del proceso. Esta característica es especialmente relevante en situaciones de incendio, donde la capacidad de ver y entender la propagación del fuego puede ser crucial para las estrategias de respuesta y control.

Durante el proceso de combustión, la energía liberada no solo se emite en forma de calor y luz, sino que una parte significativa se disipa en el ambiente circundante. Este calor disperso contribuye a la atmósfera del entorno, pero más críticamente, activa y mantiene la mezcla de combustible y comburente, perpetuando la reacción en cadena. Esta reacción en cadena es fundamental, pues permite que el fuego continúe ardiendo mientras haya combustible y oxígeno disponibles, facilitando una quema continua y controlada.

Combustión por explosión

La combustión por explosión es un tipo específico de reacción de combustión que se caracteriza por la liberación extremadamente rápida y violenta de energía. Este fenómeno se produce cuando un combustible y un oxidante, generalmente el aire, se encuentran mezclados en proporciones adecuadas y se expone a una fuente de ignición. La velocidad con la que ocurre la reacción y la energía liberada resultan en la generación de una onda de choque, lo que comúnmente percibimos como una explosión.

Este tipo de combustión puede ser particularmente destructiva debido a su capacidad de generar no solo fuego, sino también una onda expansiva que puede causar daño estructural significativo y representar un grave riesgo para la vida humana. Las explosiones son comunes en entornos industriales donde se manejan gases o polvos inflamables, como fábricas de productos químicos, instalaciones de procesamiento de granos o minas. Sin embargo, también pueden ocurrir en entornos domésticos, por ejemplo, por la acumulación de gas natural o propano en áreas poco ventiladas.

Una de las claves para prevenir la combustión por explosión es entender la naturaleza de los materiales involucrados y las condiciones bajo las cuales estos materiales se vuelven explosivos. Por ejemplo, muchos gases industriales y domésticos son inofensivos en su uso normal, pero si se filtran y se mezclan con el aire en una concentración particular, pueden volverse altamente explosivos.

Combustión deflagrante

Una deflagración se caracteriza por ser un tipo de combustión sub-sónica, donde la velocidad de propagación de la llama es considerablemente rápida pero aún inferior a la velocidad del sonido en el ambiente circundante. Este fenómeno ocurre generalmente cuando gases inflamables, como el gas natural, el propano o vapores de solventes, se mezclan con el aire en proporciones que facilitan la ignición y la combustión sostenida, pero sin alcanzar la rapidez de una detonación, donde la llama se propaga a velocidad supersónica.

Durante una deflagración, la presión y la temperatura dentro del medio combustible aumentan rápidamente, aunque no tanto como en una detonación. Esta rápida expansión de gases puede generar ondas de presión que son capaces de desplazar objetos, romper ventanas y dañar estructuras, pero con un nivel de fuerza menor comparado con la explosión catastrófica de una detonación. No obstante, el peligro de una deflagración no debe subestimarse, ya que puede causar graves daños estructurales y personales en espacios confinados o mal ventilados.

La dinámica de una deflagración depende en gran medida de la concentración del combustible en el aire, la configuración del espacio donde se produce y las condiciones de ventilación. En entornos industriales, la acumulación de polvos combustibles como harina, azúcar o metales en polvo, puede también resultar en deflagraciones si estos polvos se dispersan en el aire en concentraciones adecuadas y encuentran una fuente de ignición. Este tipo de deflagración de polvo es especialmente peligrosa porque la naturaleza dispersa del combustible permite una rápida propagación de la llama a través del aire.

Combustión detonante

La combustión detonante, conocida comúnmente como detonación, es un tipo de combustión extremadamente rápida y enérgica que se caracteriza por la propagación de una onda de choque a través del medio reactivo, generando presiones y temperaturas muy elevadas. Este tipo de combustión es fundamentalmente diferente de la combustión simple o deflagrante, en la que la velocidad de propagación de la llama es mucho más lenta y no acompaña una onda de choque.

En la combustión detonante, la velocidad de propagación es extraordinariamente alta, excediendo la velocidad del sonido en el medio en que se propaga, típicamente alcanzando

velocidades que van desde 1,000 a 3,000 metros por segundo, dependiendo de la mezcla combustible y las condiciones ambientales. Esta rápida expansión se debe a que la reacción química ocurre casi instantáneamente en toda la región del combustible, provocada por el frente de choque que comprime y calienta el combustible y el oxidante a temperaturas extremadamente altas, facilitando una reacción casi instantánea y completa.

La detonación es común en motores de combustión interna de alto rendimiento, como los encontrados en vehículos de carreras y aeronaves, donde el fenómeno puede llevar a la destrucción del motor si no se controla adecuadamente. Además, es un principio fundamental en el funcionamiento de explosivos, donde la rapidez y la eficacia de la reacción química son esenciales para el propósito deseado, como la demolición controlada o la propulsión de proyectiles.

las tres fases del fuego en un edificio

Como repetimos a menudo en nuestros posts, para poder afrontar una operación de extinción y evacuación en un incendio, resulta fundamental tener un profundo conocimiento del fuego. Por ello hemos elaborado artículos en los que hablamos de los [tipos de fuego y agentes extintores](#), su comportamiento y los elementos que son necesarios para que se produzca uno. En este te explicamos **cuáles son las [fases del fuego](#) y qué se puede esperar que ocurra** en cada una de ellas.

Por supuesto, cada incendio tiene unas características distintas, en función del combustible y el comburente que entren en juego, así como las condiciones del entorno en el que se ha desencadenado. Pero de manera general, podemos hablar de **tres [fases del fuego](#)**, cuando el incendio se produce en un edificio o en las instalaciones de un centro de trabajo

[Fase inicial o incipiente](#)

Es la primera de las tres fases del fuego, en la que se generan **abundantes gases** por la gran presencia de oxígeno en el ambiente. Esos gases pueden ser vapor de agua, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, etc. En cambio, si bien la llama puede tener una temperatura superior a los 500°C, **el ambiente aún no está especialmente caldeado**.

[Fase de combustión libre](#)

En esta segunda fase, el ambiente aún es rico en oxígeno produciendo **abundantes llamas**. El **ambiente, además, ya es extremadamente caliente**, superando en muchos casos los 700°C, sobre todo en las zonas altas, hacia donde se dirige el aire caliente. De ahí la importancia de moverse siempre por las áreas bajas y usar sistemas de protección respiratoria para evitar la inhalación no solo de gases, sino también del aire caliente, que puede dañar gravemente los pulmones.

[Fase latente](#)

En esta última fase, el entorno ya es pobre en oxígeno, de modo que **el fuego carece de la alimentación** necesaria para proseguir. Sin embargo, no se puede decir que el peligro haya pasado, ni mucho menos: **el ambiente sigue estando extremadamente caliente** y los restos de los **materiales calcinados siguen estando en estado candente**, a una altísima temperatura también. Eso no solo mantiene el riesgo por quemaduras, sino también por otro potencialmente más destructivo en el caso de que el espacio vuelva a recibir oxígeno: una nueva combustión o, cuando menos, una nueva generación de gases y humo.

PROCESOS DE COMBUSTION SIN LLAMA SMOULDERING

PROCESOS DE COMBUSTIÓN SIN LLAMA

El smouldering es una **reacción de combustión** superficial heterogénea que bajo ciertas condiciones se propaga a través del interior de los sólidos combustibles porosos.

El fenómeno de **combustión sin llama** se presenta cuando la concentración de oxígeno en una mezcla combustible es mayor del 10% y la temperatura es mayor que la de autoignición, caracterizado por la ausencia de luminosidad en la zona de reacción.

Su **reacción es lenta**, no se requieren altas temperaturas y se produce **sin llamas**.

" Esta reacción se mantiene debido al calor producido cuando el oxígeno ataca directamente a la superficie de un combustible en fase condensada.

Es importante no confundir el smouldering con una combustión incandescente o glowing combustion.

La diferencia entre ellas:

- **La reacción de smouldering** no produce luz visible.
- **La combustión incandescente o glowing** produce luz en la zona de combustión.

Riesgos de la combustión sin llama [smouldering]

1. Produce una mayor transformación de un combustible a compuestos tóxicos en comparación con una llama.
2. Proporciona una ruta para que la inflamación del combustible pueda ser iniciada por fuentes de calor mucho más débiles que una llama.

Proceso de la combustión sin llama [smouldering]

El proceso de inicio del smouldering está dominado por la cinética de oxidación de un sólido.

En la combustión sin llama se oxida la superficie carbonizada, generando localmente el calor suficiente para producir una nueva carbonización del combustible adyacente aún sin quemar. Se trata de un proceso muy lento que, en algunos casos, puede llegar a producir llamas y provocar un incendio que se propagará a gran velocidad.

La propagación del smouldering está controlada por la cantidad de oxígeno transportado a la zona de reacción. El control de la reacción vía transporte de oxígeno ocurre debido a que el calor producido durante el

inicio del smouldering incrementa la temperatura local y por tanto la tasa de reacción en la zona, hasta que todo el oxígeno que la rodea se ha consumido.

Posteriormente, la reacción continúa consumiendo oxígeno a medida que alcanza la nueva zona de reacción, produciendo a nivel local una cantidad muy baja de oxígeno la cual limita la reacción.

La evolución del smouldering a zonas alejadas del área del inicio de la reacción es muy dependiente de las condiciones de suministro de oxígeno. Si la iniciación se produce en una zona profunda de una capa de partículas finas, la reacción se desplazará a la superficie del material muy lentamente. Cuando el smouldering alcanza el exterior del material, la propagación se vuelve más rápida sobre esa región, debido al mayor aporte de oxígeno.

Son muchos los materiales sólidos que son susceptibles de poder sufrir **reacciones de smouldering**, unos ejemplos serían el carbón, algodón, polvo, papel, turba, humus, madera, paneles de fibras orgánicas, espumas sintéticas, polímeros carbonizados entre otros.

En términos generales, el combustible consiste en un agregado permeable formado por partículas, granos, fibras o matrices porosas. Estos combustibles agregados facilitan la reacción en la superficie con el oxígeno. Ellos también actúan como aislantes térmicos y reducen las pérdidas de calor, pero al mismo tiempo permiten el transporte de oxígeno a los lugares donde se produce la reacción por convección y difusión.

Las espumas sintéticas, como por ejemplo la espuma flexible de poliuretano (muy porosa, empleada en el relleno de mobiliario y colchones), es altamente susceptible de producir reacciones de smouldering.

La naturaleza porosa de la espuma flexible permite alimentar con aire a la reacción exotérmica mientras protege la zona de la reacción de las pérdidas de calor de los alrededores. La espuma flexible de poliuretano es el material seleccionado por la mayoría de los laboratorios para llevar a cabo ensayos sobre las combustiones con smouldering debido a que se inflama fácilmente y presentan una gran tendencia a producir smouldering. Además, este material ofrece unas propiedades físicas muy homogéneas. Esto es una ventaja que no está presente en la mayoría de los combustibles naturales.

Finalmente, hay que decir que la propagación del smouldering se puede producir en una dimensión o en múltiples dimensiones.

Además, el frente del smouldering se puede desplazar en el mismo sentido que el movimiento del oxígeno o en sentido contrario.

- ► **QUÉ ES EL HUMO:**

El humo consiste en un conjunto de partículas muy pequeñas de carbón, hollín y alquitrán, que son arrastradas con los gases residuales de los fuegos, hornos y motores de combustión interna; es consecuencia de la combustión incompleta.

El humo oscuro

Al quemarse carbón en un sistema abierto, parte de las materias volátiles sale en forma de **humo**, antes de que se produzca su combustión.

Todos los combustibles sólidos contienen algo de materias inorgánicas que no se queman.

La mayor cantidad de éstas caerá en forma de ceniza, pero algunas de las partículas más finas serán arrastradas con los gases residuales.

Muchos combustibles contienen pequeñas cantidades de compuestos sulfurosos orgánicos e inorgánicos, que, al quemarse, forman anhídrido sulfuroso.

Como este gas puede dar lugar a los *ácidos sulfuroso y sulfúrico*, es potencialmente tan peligroso como el hollín y el polvo del aire.

Realmente, el anhídrido sulfuroso es el principal responsable de la erosión de los edificios de piedra y, por otra parte, el hollín existente en el aire, ensucia los edificios al depositarse sobre la piedra.

Tipos de contaminantes según su procedencia:

Los **contaminantes primarios** son los que proceden directamente de las combustiones u otro tipo de reacciones químicas, por ejemplo, el monóxido de carbono (CO), el óxido nítrico (NO) y el dióxido de azufre (SO₂)

Los **contaminantes secundarios** son aquellos que se originan por la interacción química entre los contaminantes primarios y los compuestos de la atmósfera activados por la luz solar, por ejemplo, el ácido sulfhídrico (H₂S), que deriva de dióxido de azufre (SO₂), y el ácido nítrico (HNO₃), que deriva de dióxido de nitrógeno (NO₂).

Humos y gases en la combustión

Desde el [descubrimiento del fuego](#), este ha acompañado la evolución del hombre, aportando luz, calor, protección, cambios en los comportamientos de los materiales. Pero, se convertirá en un enemigo si se pierde el control sobre el mismo.

El humo es una parte inherente a los [incendios](#), sabemos que para iniciar incendio hace falta la coexistencia en espacio y tiempo con intensidad suficiente de 3 factores: Combustible, Comburente (Oxígeno) y Energía . Para que un combustible pueda arder, debe emitir gases combustibles o inflamables y por tanto, la mayoría de los sólidos y líquidos hay que calentarlos para que produzcan estas emisiones. La cantidad de gases inflamables que se produzcan dependerán de 3 factores:

- 1.- La posición y superficie del combustible expuesta al calor.
- 2.- La mayor o menor disgregación del combustible (Madera o serrín)
- 3.- La cantidad de calor recibida por el combustible.

Presencia de humos y gases en los incendios

Los humos y gases de la combustión son el factor de riesgo más importante en los [incendios](#) en interior de edificios. El fuego transforma los materiales que se queman, en gases. La toxicidad y cantidad de los gases producidos por la combustión depende del material incendiado y pudiéndose producir los siguientes efectos:

- 1.- Efectos **térmicos**: Partículas incandescentes y problemas por encima de 40° C.
- 2.- Efectos **irritantes**: Ojos y vías respiratorias. Contenido de Nitrógeno, Cloro y Azufre.
- 3.- Efectos **asfixiantes**: Disminución de oxígeno y presencia de Dióxido de Carbono.
- 4.- Efectos **Tóxicos** Asesinos silenciosos: Monóxido de Carbono (CO) y Cianhídrico (CNH).
- 5.- Efectos **inflamables**: Mantienen la combustión. Monóxido de Carbono (CO) y Amoníaco (NH₃).
- 6.- Efectos **corrosivos**: Deterioran materiales y personas. Cloro (Cl), Acido Clorhídrico (ClH) y Amoníaco (NH₃).
- 7.- **El humo**: Es uno de los factores más peligrosos de un incendio. Se compone de partículas sólidas y líquidas en suspensión. Los tamaños de estas partículas oscilan entre las 0.005 y las 0.01 micras. El humo provoca la irritación de las mucosas nasales. En los ojos produce lagrimeo haciendo difícil la visión. El humo obstruye el paso de la luz y, por tanto, dificulta el trabajo de los especialistas de extinción y la recuperación de los posibles heridos.

Si se dan las condiciones adecuadas el humo puede llegar a ser inflamable o a provocar una deflagración.

Cada tipo de material emite un humo de un color diferente y resulta muy complicado saber que es lo que se esta quemando tan solo con ver el humo aunque puede servirnos de orientación:

Tipos de humos

Humo **blanco**: se produce por la combustión de materiales vegetales, pienso...

Humo **amarillo**: debe su color a las sustancias químicas con contenido en azufre, ácido clorhídrico y nítrico.

Humo **gris**: producido por materiales compuestos por celulosas y fibras artificiales.

Humo **negro oscuro**: plásticos, petróleo, materiales acrílicos.

La toxicidad del humo

La peor amenaza por parte del humo proviene de las partículas finas en suspensión. Son partículas microscópicas que penetran en los pulmones.

La incorporación de nuevos materiales en la construcción de los edificios, en el mobiliario y los elementos propios de los hogares, presentan una mayor tendencia a generar gases tóxicos durante su transformación y descomposición.

Según los datos recogidos sobre víctimas mortales en los incendios, nos muestran que las muertes por la inhalación de humo y gases tóxicos ha aumentado considerablemente en los últimos años.

La normativa europea actual reflejada en el Reglamento de la UE 1357/2014 referente a la clasificación de la reacción al fuego de los materiales en la construcción corresponde a los residuos que pueden provocar una toxicidad específica en determinados órganos, bien por una exposición única bien por exposiciones repetidas, o que pueden provocar efectos tóxicos agudos por aspiración. No se contempla el grado de toxicidad de los humos desprendidos en el siniestro.

El color del humo y lo que podemos encontrar dentro de él.

El *humo* está constituido por partículas físicas sólidas y líquidas en suspensión en el aire (principalmente vapor de agua) de diferente tamaño y color, incompletamente quemadas, que son arrastradas por corrientes de *convección* de aire (el aire caliente asciende). Además a la adecuada proporción de calor y oxígeno el humo es *inflamable*.

– PARTICULAS EN EL HUMO

○ HOLLÍN.

Son partículas de polvo rico en *carbono* de tamaños comprendidos entre **0.005** y **0.01 milimicras**. Se producen cuando arde la mayoría de los materiales *orgánicos* en condiciones de *combustión incompleta* porque la concentración de oxígeno es baja.

La producción de estas sustancias carbonosas es más notable en la combustión de prácticamente todos los derivados del *petróleo*.



CENIZAS.

Son residuos *inorgánicos* en polvo, resultado de una *combustión completa*, por lo tanto con un aporte de oxígeno abundante (21 %)



○ ESCORIAS.

Es un aglomerado sólido de residuos provenientes de una *combustión total* o *parcial* y que puede ser una fusión parcial o completa de material o de residuos.



El **Humo** es el principal factor de riesgo en el desarrollo de un incendio, porque tiene efectos irritantes sobre las mucosas y provoca lagrimeo en los ojos, lo que dificulta la visión. A su vez evita el paso de la luz, entonces complica las tareas de extinción y salvamento así como las de evacuación de las personas afectadas.

¿Podrías saber lo que está ardiendo por el Color del Humo?

Es muy difícil saber qué está ardiendo por el color del humo, porque la percepción luminosa depende de múltiples factores externos ajenos al proceso de combustión. Pero sí podemos tener una cierta intuición que puede ayudar mucho en las labores de extinción. Según esto, podemos tener diferentes colores y entonces distintos posibles orígenes.

Humo BLANCO.

Indica que los combustibles arden libremente, con gran presencia de O₂, y que el humo está compuesto principalmente de vapor de agua.

Su origen puede ser productos **vegetales, forrajes, fósforos**, algunos **piensos**, etc.



o **Humo NEGRO.**

El color negro indica fuegos de gran *carga térmica*, normalmente con poco aporte de oxígeno, por lo tanto combustión incompleta, con generación de monóxido de carbono.

Su origen puede ser **fibras sintéticas, cauchos, poliéster, gasóleo, gasolina, productos derivados de petróleo, plásticos y polímeros**, etc.



· **Humo AMARILLO.**

Su origen puede ser de sustancias químicas que contienen **Azufre**, con formación de *Ácidos Clorhídricos*.



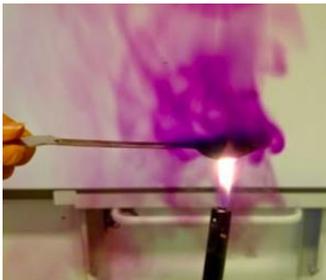
- **Humo AMARILLO VERDOSO.**

Este humo puede tener su origen en sustancias químicas que contienen **Cloro**.



- **Humo VIOLETA.**

Su origen puede ser sustancias químicas que contienen **Yodo**.



- **Humo AZUL.**

El color azul está asociado a **Hidrocarburos**.



En conclusión, el color del humo puede ayudar a los equipos de extinción para determinar la naturaleza de los combustibles y así saber a qué se enfrentan, sobre todo para poder optar mejor por un agente extintor u otro y por lo tanto ganar tiempo

¿El color del humo indica la gravedad del incendio?

El color del humo puede indicar los materiales que se están quemando, pero no necesariamente indica la gravedad del incendio. Es importante evaluar otros factores como el tamaño y la rapidez de propagación del fuego.

Estructura y tipos de llamas de fuego

La llama se define como "el medio gaseoso en el que se desarrollan las reacciones de combustión; aquí es donde el combustible y el comburente se encuentran mezclados y en reacción."

Todas las reacciones de combustión son muy exotérmicas y desprenden gran cantidad de energía en forma de calor.

La llama es provocada por la emisión de energía de los átomos de algunas partículas que se encuentran en los gases de la combustión, al ser excitados por el intenso calor generado en este tipo de reacciones.

TIPOS DE LLAMAS DE FUEGO

Atendiendo a como se incorpora el oxígeno a la llama, podemos distinguir:

Llamas de premezcla

Cuando el combustible y comburente van mezclados previamente a la combustión, como en el caso de un mechero bunsen.

En estas llamas la combustión es más completa y permiten alcanzar mayores temperaturas, presentando otras características como la tonalidad azul.

Llamas de difusión

Cuando el comburente se incorpora a la combustión debido al movimiento convectivo de la propia llama, como en el caso de una vela.

En este caso la reacción se produce en el exterior de la llama y la combustión es más incompleta y por lo tanto alcanzan una menor temperatura.

Estas llamas pueden variar de color, aunque predomina el amarillo.

ESTRUCTURA DE LA LLAMA

1. Llamas de premezcla

Se pueden diferenciar tres zonas:

Zona de precalentamiento: Al salir la mezcla de combustible/comburente aún no posee la temperatura necesaria para reaccionar, aumentando esta según se aproxima a la siguiente zona.

Zona de reacción: Una vez alcanzada la temperatura de ignición la mezcla reacciona liberando calor y formando los productos en función de los reactivos.

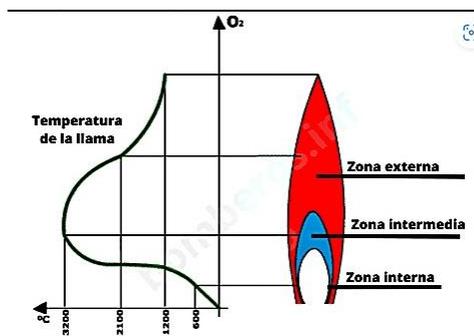
Zona de post reacción: Los gases productos de la reacción se van enfriando y dejan de emitir luz.

2. Llamas de difusión

Debido a su complejidad, es donde más se ha avanzado gracias a los avances en el aparataje de medición, pudiendo describirse varios modelos.

Modelo de tres zonas o las partes de la llama

El primero que publicó un estudio científico sobre la llama y su estructura fue Michael Faraday en 1801 con *The Chemical History Of A Candle* en el que mediante unos sencillos experimentos identificó **tres zonas en la llama**:



Zona interna: La cera fundida de la vela se vaporiza alrededor de la mecha, creando una zona en la que lo único que hay es gases combustibles por lo que no puede combustionar. A esta zona también se le denomina zona fría o zona oscura ya que en ella no se emite luz.

Zona intermedia: En el límite de la zona interna el combustible comienza a mezclarse con el oxígeno circundante permitiendo su combustión. Es la región en la que la temperatura es muy elevada de forma que emite luz.

Zona externa: En ella predomina el oxígeno circundante, por lo que los radicales libres formados en las zonas de mayor temperatura se combinan con el oxígeno completando la oxidación o bien escapando en forma de hollín.

Modelo de cuatro zonas

Estudios más recientes han permitido observar que las llamas de difusión presentan zonas en las que su combustión se asemeja a las llamas de premezcla en aquellas zonas que mejor aporte de oxígeno tienen, en la zona inferior y en la capa más externa, apreciable a simple vista ya que presentan características comunes como poca luminosidad y color azulado.



Partes de la llama:

- zona fría (cono interno) 300° – 350°
- zona reductora (cono luminoso) 1570° - 1540°
- zona oxidante (cono calorífero) 1540°

PRINCIPIOS DEL FUEGO: LLAMAS DIFUSORAS

Los principios del fuego

Disponemos actualmente de conocimientos técnicos importantes sobre las características de la **ignición, combustión y propagación del fuego** en los materiales combustibles (sólidos, líquidos y gaseosos).

Sin embargo, la mayoría de los conocimientos adquiridos corresponde a distribuciones geométricas muy sencillas y, por lo tanto, no permite pronosticar adecuadamente la **probabilidad de la ignición** y el incendio resultante en situaciones reales.

No obstante, los conocimientos derivados de estas situaciones simplificadas nos proporcionan una información muy útil.

Probablemente, el encendido de **mezclas gaseosas explosivas** preparadas previamente, a base de un combustible y aire, es el ejemplo más sencillo.

Disponemos de gran cantidad de información sobre **las llamas** que producen las mezclas preparadas, gracias a las ventajas que ofrecen los experimentos en condiciones controladas.

En la actualidad conocemos los **límites de inflamabilidad y velocidades de combustión** de la mayoría de las mezclas más comunes de vapor y gas.

Asimismo, los expertos pueden actualmente calcular con exactitud las **velocidades de combustión** de las mezclas simples de hidrocarburos y aire en función de sus múltiples reacciones químicas individuales.

Llama difusoras

Otras situaciones sencillas son **la combustión constante** de gotas de combustible o pequeñas muestras de plásticos simples. En estos casos, la combustión ocurre en **llamas de difusión laminar** de una fase gaseosa donde la combustión depende del caudal de combustible y aire aportado.

Los incendios se diferencian de las explosiones en que surgen en casos donde el combustible y el oxidante no están previamente mezclados.

La **velocidad de combustión** está entonces limitada, más por el aporte de combustible y oxidante (aire) al fuego, que por la velocidad de la reacción química básica que tiene lugar en el seno de las llamas.

Esta **velocidad de reacción** es generalmente tan rápida, que consume todo el combustible y el material oxidante disponible para alimentar la reacción en poco tiempo.

En los incendios, el proceso básico de la combustión en fase gaseosa tiene lugar en finas llamas laminares, denominadas **"llamas difusoras"**, que separan las regiones ricas en vapores combustibles de las regiones ricas en material oxidante.

El **vapor combustible y el material oxidante** avanzan **por difusión** hacia esas llamas laminares donde se combinan y originan productos de combustión y calor que a su vez se alejan de aquéllas por difusión.

Si las llamas difusoras son pequeñas -por ejemplo, la llama de una cerilla o vela- generalmente presentan un aspecto uniforme y constante. Estas son las denominadas **llamas de difusión "laminar"**.

Si permitimos que el incendio aumente, las llamas pierden estabilidad y zigzaguean en busca de más combustible u oxidante. Finalmente, al aumentar el fuego, el movimiento de las llamas alcanza características verdaderamente desordenadas, pasando a denominarse en este caso **llamas de difusión "turbulenta"**.

Los científicos han logrado un conocimiento relativamente claro sobre pequeños fuegos con presencia de llamas de difusión laminar.

Por ejemplo, pueden calcular velocidades de propagación de llamas y velocidades de combustión estacionaria de pequeños combustibles sólidos en términos de propiedades básicas de combustión de formas geométricas sencillas pero variadas (superficies planas o lisas, cilindros, etc.).

En estos casos, **las velocidades de combustión dependen de la transferencia del calor por las corrientes de convección** desde la llama hasta el combustible sólido que, en consecuencia, se gasifica y su ministra vapores combustibles a las llamas.

La corriente ascendente producida por los productos calientes de la combustión suministra el oxidante (aire) a las llamas. La corriente ascendente puede, además, aumentar la transmisión de calor por convección de las llamas al combustible sólido.

Si hay **propagación de la llama**, la velocidad de propagación depende del calor que las llamas transmiten hacia adelante y los materiales combustibles que todavía no arden y que necesitan calentarse previamente para suministrar vapores combustibles a las llamas. (Contiene un análisis de las muy distintas formas de propagación del fuego y como predecir sus velocidades de propagación).

Los **fenómenos de las llamas de difusión turbulenta** en incendios importantes son menos conocidos, debido a que resulta difícil describir el **movimiento turbulento de un gas y la radiación de la llama**, que es generalmente la forma dominante de transmisión del calor en estos incendios.

La experiencia y las medidas que han podido tomarse demuestran el destacado papel que **la radiación de la llama** desempeña en los incendios de grandes dimensiones, **alterando** incluso **el orden relativo de inflamabilidad** de los combustibles, en comparación con el que presentan a escala inferior

Características de los principales contaminantes

● Dióxido de azufre:

El **dióxido de azufre (SO₂)** es un gas incoloro y no inflamable, de olor acre e irritante.

Procede de la producción energética térmica que deriva del consumo de combustibles fósiles que contienen [azufre](#).

La mayor parte del azufre nocivo se forma que el procesamiento del gas natural y en el refinamiento del petróleo.

● Monóxido de carbono

El **monóxido de carbono (CO)** es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el contaminante más abundante y de mayor distribución de la capa inferior de la atmósfera. El origen principal de CO por las actividades humanas es la combustión incompleta de los carburantes.

● Dióxido de carbono

El **dióxido de carbono (CO₂)** es un gas incoloro, inodoro y 1,5 veces más denso que el aire. Es un componente natural de la atmósfera. En los procesos de producción de energía, como en la calefacción y el transporte, se libera este compuesto y las elevadas concentraciones pueden llegar a ser muy contaminantes.

● CFC

Los **clorofluorocarbonos (CFC)** son gases inertes. Se trata de sustancias de origen antrópico responsables, entre otras, del efecto invernadero.

● Óxidos de nitrógeno

Los **óxidos de nitrógeno (NO y NO₂)** son un grupo de gases formados por nitrógeno y oxígeno. La emisión natural de óxido de nitrógeno es casi 15 veces mayor que la realizada por el ser humano.

El óxido nítrico es relativamente inofensivo, pero el dióxido de nitrógeno puede causar daños en la salud, perjudica al sistema respiratorio y además contribuye a la formación de [la lluvia ácida](#).

● Dioxinas

Las **dioxinas** son productos orgánicos incoloros e inodoros. Se obtienen a partir de los fenómenos naturales, como [la actividad volcánica](#) y los incendios forestales, pero las fuentes más importantes son las incineradoras, la incineración doméstica de la madera y la industria del metal.

● Partículas

Los contaminantes que no están en la atmósfera en forma de gas se llaman partículas. Pueden ser sólidas o líquidas.

● Ozono troposférico

El **ozono de la estratosfera** protege de las radiaciones ultravioletas del Sol. Pero ocurre que ciertas reacciones químicas producen una disminución de este, lo que repercute en un incremento de la concentración en la troposfera, donde resulta muy perjudicial para la respiración de los seres vivos.

● GAS

- Dióxido de azufre
- Monóxido de carbono
- Dióxido de carbono
- CFC
- Óxidos de nitrógeno
- Dioxinas
- Partículas sólidas
- Ozono troposférico

● Procedencia

- Combustión de petróleo
- Combustiones
- Industria
- Maquinaria refrigeradora
- Carburantes de automóviles
- Incineradoras de basura
- Canteras, humos en general
- Emisión de sus precursores

● Efecto

- Afecciones respiratorias
- Muy tóxico
- Aumento efecto invernadero
- Agujero de ozono
- Lluvia ácida
- Posible aumento del riesgo de cáncer
- Enfermedades pulmonares
- Daños en vías respiratorias

LA ACCION DEL FUEGO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los edificios pueden estar sujetos a la acción de un **incendio eventual** que puede ocasionar **pequeños daños**, o a la acción de un **fuego más extenso e intenso** que puede tener **consecuencias** drásticas para **las estructuras** y por consiguiente pueden debilitarlas seriamente o incluso producir la **destrucción total** de dichos edificios.

Por todo ello podemos decir que, junto al calor y las llamas que produce el propio fuego, **la intensidad del fuego, su extensión y sus efectos sobre las estructuras de las edificaciones** dependen de una serie de factores, los cuales son:

1. Los materiales en elementos estructurales

La calidad, naturaleza y cantidad de los materiales combustibles en el edificio tienen una marcada influencia sobre los daños ocasionados por el incendio.

Estos materiales pueden ser **estructurales o decorativos**, o simplemente estar en forma de **materiales almacenados** o mobiliario.

La estructura, naturaleza y composición de los mismos definen la combustibilidad y su tendencia a extender el fuego.

2. Corrientes de aire

El efecto de las corrientes de aire que penetran a través de las ventanas o puertas abiertas, así como las cajas de escaleras y huecos de ascensor y ventilación, puede ser muy considerable.

Estas corrientes **ayudan a la combustibilidad** de los materiales y **aumentan la intensidad del fuego** y la **extensión de las llamas**.

3. Cenizas y humo

Las cenizas resultantes de la combustión pueden **formar capas** que ayuden a **reducir a la combustión** de algunos materiales, tales como la madera, formando una **capa aislante** que los protege.

Sin embargo, las cenizas y el humo **acumulan calor** y pueden ser motivo de **nuevos focos de incendio**. Por otro lado, se **adhieren a las estructuras** produciendo desperfectos y trasladando la energía que poseen a las mismas.

4. Los gases

Los propios gases que se generan en la combustión pueden ser de muy diversa índole y además en un entorno favorable estos estarán **calientes y activos**, por ello algunos de ellos pueden reaccionar con otros materiales produciendo **nuevos gases** o incluso **explosiones o deflagraciones** con efectos destructivos.

Además multitud de gases pueden actuar como **agentes químicos** que pueden dañar seriamente los elementos estructurales debilitándolos, como por ejemplo son las corrosiones de los aceros, uniones metálicas o armaduras del hormigón armado.

5. Efectos de la lucha contra el fuego.

Con el fin de combatir el fuego, los servicios contra-incendios suelen emplear **agua a presión** sobre la superficie de los materiales y elementos estructurales que están ardiendo. El efecto de esta lucha es impedir la extensión del mismo conteniéndolo y enfriando las superficies cerca de la zona incendiada para en definitiva apagar el fuego.

Sin embargo, durante el fuego **los materiales absorben calor** y se dilatan causando daños y cuando se lanza agua se producirán **enfriamientos y contracciones repentinas** que también provocan daños a los materiales.

Es por ello, que **el efecto del agua** puede ser tan destructivo como el propio fuego, afectando a los materiales estructurales y a las superficies especialmente las calientes; junto a ello el agua produce **sobrecargas sobre las plantas o forjados**, estropean las impermeabilizaciones, etc.

Es decir, cuando una estructura se ve sometida a la acción de un fuego, se producen sobre sus elementos resistentes **una serie de efectos** que básicamente los podemos resumir en dos (la **pérdida de resistencia** y los **empujes debidos a la dilatación**).

Ambos efectos provocan, si la intensidad del fuego y su duración son suficientes, el **colapso o hundimiento de la estructura** y, en todo caso, lesiones de mayor o menor intensidad.

- *Reacción y resistencia al fuego, son dos conceptos fundamentales en el comportamiento ante el fuego de los materiales y nos servirán para ver el comportamiento de diferentes estructuras ante el fuego.*

• **La Reacción al Fuego:** La reacción al fuego de un determinado material, nos determina la mayor o menor facilidad de combustión del mismo.



• **La resistencia al fuego:** La resistencia al fuego de un determinado material o elemento es un factor que mide la **capacidad** del mismo para **soportar** durante un tiempo determinado **la acción de un fuego** estándar o tipo, ejerciendo las funciones para las que fue diseñado.

Es decir, en el desarrollo de un incendio pueden considerarse tres fases diferenciadas:

1. **De iniciación** del incendio con una elevación gradual de la temperatura.
2. **El fuego alcanza su plenitud.**
3. **La intensidad** va decreciendo hasta extinguirse.

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN MATERIALES DE CONSTRUCCION

Vamos a ver cual es el comportamiento que poseen algunos de los materiales que más usualmente se utilizan en la construcción cuando son **sometidos a la acción del fuego**, tanto del punto de vista de su reacción al fuego, como su resistencia, además de otros factores como la dilatación, transmisión térmica, potencia calorífica, etc.

1. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN LA MADERA

Se **inflama fácilmente** teniendo así una **mala reacción al fuego**, además su combustión desarrolla gran cantidad de calor aunque tiene un **bajo coeficiente de transmisión térmica**, por lo cual el calor no se transmite con facilidad a través de ella.

Cuando una pieza de madera esta sometida a la acción del fuego, esta pierde su contenido de agua y se inflama, entonces se inicia un **proceso de carbonización** de sus capas superficiales y que poco a poco, va profundizando hasta su total combustión.

Dicha **velocidad de penetración** se estima de forma aproximada en **1 cm. por cada 15 minutos**, aunque varía en función de la intensidad del fuego, el tipo de madera, la humedad y el grado y tiempo de exposición al fuego.

Por otro lado la velocidad de propagación suele ser **inferior a la de penetración** y puede observarse su **dirección y sentido** a través de líneas o marcas que van separando la zona carbonizada de la no quemada.

Al observar una pieza de madera después de un incendio, podemos ver que está recubierta de una **capa de carbón** de mayor o menor espesor en función de los factores anteriores, pero si rascamos podemos observar la parte central en perfectas condiciones. **La capa de carbón** no tiene capacidad resistente alguna, pero actúa como protección de la parte interna de la pieza hasta que se desprende.

La humedad de la madera protege asimismo de la acción del fuego, ya que la energía se consume en **evaporar el agua** contenida antes de comenzar el proceso de carbonización.

El tipo de madera (existen especies con mayor contenido de la humedad que otras), el tiempo transcurrido desde la tala y la humedad ambiental son factores que influyen en la velocidad del proceso.

Durante un incendio, las propiedades resistentes de la madera sólo se ven afectadas en la **capa directamente expuestas** al proceso de carbonización, manteniéndose intactas, e incluso mejorando con la temperatura, las propiedades resistentes de la reunión no afectada por dicho proceso.

La madera, pues, no pierde propiedades mecánicas resistentes durante un incendio, lo único que se pierde es **sección resistente en la pieza afectada**.

2. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN EL ACERO

Al contrario que la madera este material se considera **no combustible** y por tanto **no se inflama**, sin embargo su comportamiento ante el fuego en general (**mala resistencia al fuego**), es peor que el de la madera.

Cuando una pieza de acero se somete a la acción del fuego, éste **eleva su temperatura** en función de la intensidad del foco.

Debido a que el acero es un **buen conductor del calor** (su coeficiente de transmisión es mucho mayor que el de la madera), esta elevación de temperatura es transmitida rápidamente a través de todas las piezas metálicas que están en contacto con la pieza sometida al calor.

En principio este efecto es favorable, ya que la disipación de calor, retrasa el aumento de temperatura en el punto sometido al foco de calor. Sin embargo, si el fuego sigue, el **aumento de calor recibido** es mayor que el calor disipado y la pieza, aunque con cierto retraso respecto al foco (inercia térmica) sigue **umentando su temperatura**.

Al contrario que la madera, el acero **no pierde sección resistente**, en cambio pierde, y de forma acusada, su capacidad de resistencia.

Dicha **capacidad disminuye** rápidamente a partir de los **350°C a 400°C**, y aunque en el cálculo de estructuras metálicas se incluyen unos coeficientes de seguridad, dichos coeficientes son insuficientes para compensar esta disminución a entre los 450°C-550°C (Temperaturas críticas).

La **temperatura** se alcanza en un tiempo teórico entre **10-15 minutos**. Es conveniente resaltar que la resistencia en frío son los ensayos de rotura después de hacer enfriar el acero hasta la temperatura ambiente.

En un incendio real y dependiendo de los factores que intervengan (intensidad del foco, distancia, inercia térmica, masividad del elemento, etc.) la **sección de una pieza de acero** puede alcanzar en su totalidad dichas temperaturas en un tiempo entre **10 y 20 minutos**, tiempo a partir del cual entramos en **peligro de colapso**.

La **alta conductividad térmica del acero**, hace que el calor se propague con facilidad entre las piezas de acero, pudiendo transmitir calor a zonas alejadas que den origen a nuevos focos de incendio.

El acero pues, no pierde como la madera, sección resistente, pero **pierde** y de forma relativamente rápida, **propiedades resistentes**.

3. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN EL HORMIGON

Al igual que el acero **es incombustible** y no sufre por tanto pérdida de sección resistente por carbonización como la madera.

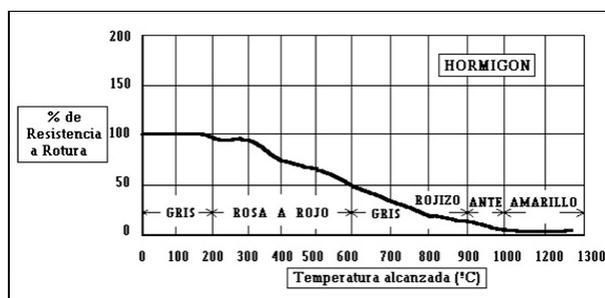
Al igual que el acero, su fallo se debe a una **perdida de propiedades mecánicas resistentes** que varían de forma importante en función de la dosificación, del tipo y granulometría del árido utilizado, tipo de cemento, evaporación del agua, etc.

En términos generales al aumentar la temperatura y hasta los 200-250°C no hay pérdidas de resistencia, pero a partir de los **300°C** el hormigón pierde hasta un **20% de su resistencia inicial**, y

que al seguir aumentando dicha temperatura el decremento de su resistencia va en aumento, perdiendo prácticamente la mitad de su resistencia a los 450°C.

Hacia los **600°C** los áridos se expanden fuertemente y con diferentes valores, dando lugar a **tensiones internas** que empiezan a **disgregar el hormigón** produciendo **crujidos y pequeñas explosiones internas**.

El hormigón, en este proceso de **elevación de la temperatura**, va sufriendo una serie de **cambios de coloración** que pueden indicarnos de forma aproximada la temperatura a que está o ha estado sometido el hormigón durante el proceso de incendio (ver la siguiente gráfica).



Así, hasta los **200°C** el color del hormigón es **gris** y no hay cambio apreciable de sus condiciones.

Desde los **200° a los 600°C** el color varía **del rosa al rojo**, permaneciendo el hormigón prácticamente **sano** (perdidas apreciables).

Entre los 600° y los 900°C, el color cambia a un segundo **gris con partículas rojas** (perdidas importantes de su resistencia).

De 900°C a 1.200°C el color pasa a un color ante o **amarillento** y su resistencia es prácticamente nula.

Estos cambios de coloración son permanentes y las observaciones pueden ser hechas una vez extinguido el incendio.

| TEMPERATURA (°C) | COLORACION | RESISTENCIA RESIDUAL (%) |
|------------------|-------------|--------------------------|
| 0-200 | Gris | 100-95 |
| 200-500 | Rosa | 90-75 |
| 500-600 | Rosa Rojizo | 70-55 |
| 600-900 | Gris Rojizo | 10-5 |
| 900-1000 | Ante | 0 |
| > 1000 | Amarillo | 0 |

La **baja conductividad térmica del hormigón** hace que el calentamiento del hormigón por el fuego afecte solo a las **capas externas** del mismo (5-10 cm) a causa de lo cual se produce una **dilatación** en dichas capas que produce **grandes tensiones** con la zona interna y provoca su **agrietamiento**.

Por ejemplo, observando las capas inferiores de una pieza probeta de hormigón, los 300°C se localizan a unos 34 mm cuando ha estado expuesto a 30 minutos y a unos 154 mm cuando el fuego dura una hora.

Es decir, **el hormigón es incombustible**, no obstante, el aumento de temperatura de un incendio provoca una pérdida importante de propiedades resistentes y fuertes tensiones en una masa que producen su agrietamiento.

4. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN HORMIGON ARMADO

Es un **elemento mixto** de construcción constituido por dos elementos: **hormigón y acero**.

- Por ello, constituye un elemento mixto de construcción de gran versatilidad, el acero y hormigón se colocan y calculan para absorber los esfuerzos a los que van a ser sometidos.

El **comportamiento del hormigón armado frente al fuego** va a depender en gran manera del comportamiento de cada uno de sus componentes (acero y hormigón) y de las funciones resistentes que cada uno de ellos desempeñan en el conjunto; lo cual indica que debemos considerar las temperaturas críticas de ambos.

El hormigón y el acero tienen un **coeficiente de dilatación térmica** muy similar; es decir, ante un determinado **aumento de temperatura, ambos dilatan** prácticamente lo mismo.

Sin embargo, **el acero** lo hace de una forma **muy rápida** y **el hormigón lo hace lentamente**.

Como vimos en el hormigón, el calentamiento de sus capas superficiales producía el agrietamiento y descascarillamiento del mismo.

Si a consecuencia de este descascarillamiento, quedaran **descubiertas las armaduras de acero**, se producirán seguramente los siguientes efectos:

1. El acero, expuesto directamente al calor dilatará más rápidamente que el hormigón provocando fuertes tensiones de desgarre, provocando pérdidas de adherencia entre ambos materiales y comprometiendo el trabajo conjunto de ambos.
2. Las armaduras, expuestas directamente al fuego y zunchadas por los estribos, pandearán entre ellos favoreciendo aún más el desconchamiento.
3. Ambos materiales perderán capacidad resistente según hemos visto al estudiar cada uno de ellos, pero las pérdidas serán más notables en el acero que en el hormigón, ya que de este último, no se ve afectada toda la masa, sino solo los 5 ó 10 cm. externos.
4. La pérdida de la capa de protección de hormigón dejará al descubierto las armaduras de las vigas, pilares y forjados que, al llegar a su punto crítico de temperatura, provocarán el colapso del elemento.

- Por tanto, el hormigón armado, elemento incombustible, pierde su resistencia al fuego, al quedar al descubierto sus armaduras de acero por desconchamiento y pérdida de la capa protectora de hormigón que las protege.

5. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN ALBAÑILERIA

Los componentes de albañilería y de fabrica (ladrillos, bloques, baldosas, morteros, etc.) **son incombustibles** y en general **su resistencia ante el fuego no es mala**.

Cuando tiene forma de **ladrillo hueco, macizo o bloques de hormigón**, ofrece una considerable resistencia al fuego, siendo los bloques de hormigón los mejores aislantes.

En los **elementos huecos de cerámica** y por efecto del calor se produce la rotura de las paredillas en su cara expuestas al fuego.

Ello crea unas condiciones de excentricidad que acaban convirtiéndose en una **pérdida de capacidad resistente** e incluso de **inestabilidad del muro**.

La rotura de las paredes inferiores de las bovedillas en los forjados, no tiene mayor trascendencia que la caída de cascotes que originan, ya que la misión de las bovedillas no es resistente, sino que hacen el papel de encofrado perdido del forjado.

Sus **coeficientes de conductividad térmica** suelen ser bajos por lo que no transmiten dicha temperatura y funcionan como aislantes.

Sin embargo, debido a su rápida dilatación los elementos de fabrica tienden a presentar finalmente **formas redondeadas** en sus extremos.

6. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN EL VIDRIO

Aunque **el vidrio es incombustible**, presenta mal comportamiento de resistencia ante el fuego.

Debido principalmente a su **incapacidad para sufrir deformaciones**, es uno de los elementos mas frágiles que se conocen.

Es muy **mal conductor del calor** y por ello salta o estalla en pedazos cuando se calienta; es decir **no se dilata**.

El **desprendimiento de cristales** puede llegar a ser un problema que dificulte seriamente las tareas de extinción y la seguridad de los equipos de intervención.

El vidrio también se utiliza como **elemento estructural** en (baldosas, pavés) con un comportamiento térmico bastante aceptable.

7. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN ALUMINIO

El aluminio utilizado en las construcciones es prácticamente **incombustible** y sus propiedades resistentes son por lo general malas.

Conduce rápidamente el calor y tiene su **punto de fusión** sobre los **650°C**.

Normalmente **colapsa** a temperaturas muy bajas (aproximadamente **200°C**).

Su utilización como **elemento portante estructural** aún no está muy desarrollada, utilizándose fundamentalmente en **carpintería metálica** y en **perfilería de sujeción** de techos colgantes.

Aunque tiene grandes posibilidades resistentes, su **comportamiento ante el fuego es muy deficiente.**

COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO EN ESTRUCTURAS

las estructuras se denominan **isostáticas** cuando el fallo de un elemento produce su hundimiento e hiperestáticas cuando los esfuerzos soportados por un elemento pueden, en ciertas condiciones, ser absorbidos por otros elementos del sistema, caso de ocurrir el fallo de uno de ellos.

Veamos los diferentes tipos de estructuras que podemos encontrarnos:

1. Comportamiento del fuego en estructuras de madera

La **madera**, al contrario que el acero y el hormigón, **es combustible**, pero puede proporcionar una seguridad razonable durante un incendio en función de:

- su densidad
- contenido de humedad
- sección del elemento que se vea afectado

Colapsan por pérdida de sección resistente de sus elementos al ser sometidos a la acción del fuego.

La rapidez de dicho proceso depende de la **velocidad del proceso de carbonización** como vimos en el comportamiento de la madera.

El comportamiento de las estructuras de madera se ve modificado de forma importante a causa de:

1. Existencia de insectos xilófagos: carcoma, termitas, hormigas, etc.
2. Defectos en las piezas debidos a nudos, humedades, hongos, etc.
3. Existencia de rotura de uniones o de refuerzos.
4. Cuando para su ejecución se han utilizado elementos metálicos (tornillos, platabandas, flejes, etc.) o son estructuras mixtas (cuchillos, tirantes, etc).

Las estructuras de madera tienen como aspectos negativos:

1. No se producen deformaciones apreciables en la estructura que anuncien o hagan intuir su colapso, produciéndose este por lo general, de forma mucha mas brusca que en las de acero.
2. Dificultad de observación de las grietas producidas en su masa durante el proceso del incendio (fundamentalmente en las vigas), debido a la gran cantidad de humo que se condensa o acumula.

Como aspectos positivos las estructuras de madera tiene:

1. La madera no pierde propiedades resistentes al ser atacada por el fuego.
2. No provocan esfuerzos adicionales por dilatación de sus elementos (fuerzas o momentos).
3. Las estructuras fallan por pérdida de sección resistente, por carbonización en un proceso de evolución relativamente lento que puede en cierto modo

seguirse con medios organolépticos o estimativos (tiempo transcurrido, pérdida de sección, crujidos, aspecto, etc.).

4. Las estructuras son habitualmente (salvo cerchas y cuchillos) isostáticas y de poca altura y complejidad, lo que facilita su control y evolución.

2. Comportamiento del fuego en estructuras de acero

Tienen un comportamiento muy distinto de las de madera.

Su **colapso o hundimiento** se produce por **fallo de resistencia** en uno o varios de sus elementos.

Las **estructuras metálicas isostáticas** (viga apoyada) tendrían teóricamente que colapsar al rebasarse los **500-550°C**.

Por lo general, las estructuras metálicas son **hiperestáticas**, lo cual permite en cierto modo, una **redistribución de esfuerzos** que podría alargar el tiempo de colapso o derrumbe de la estructura, a pesar de que alguno de sus elementos esté fuera de servicio.

Los **puntos más débiles** de las estructuras metálicas suelen ser las **piezas largas y de poca sección** y su colapso se produce **por pandeo**.

Las estructuras metálicas tienen como aspectos negativos:

1. Pierden propiedades resistentes con relativa rapidez, si no están protegidas.
2. Las dilataciones y deformaciones producidas por el calor provocan empujes y giros muy fuertes no previstos en el cálculo de la estructura que pueden provocar el derrumbe de la estructura o el desplome de elementos en contacto con ella (muro, cerramiento, etc.)
3. Cuando la estructura es compleja y la redistribución de esfuerzos hacen difícil la predicción real de su comportamiento y por tanto su colapso o hundimiento.

Como aspectos positivos las estructuras metálicas tienen:

1. No son combustibles y por tanto no contribuyen a aumentar la carga térmica.
2. No participan en la propagación del incendio aunque nos pueden transmitir por conducción el calor a otro punto.
3. La deformación es un indicador de su evolución, sobre todo en cerchas o naves cubiertas con estructuras o grandes luces en estructuras vistas, en las que se producen grandes deformaciones antes del hundimiento.

3. Comportamiento del fuego en estructuras de hormigón armado

Al igual que las de acero, **fallan** cuando uno o más de sus elementos llegan al **límite de su resistencia**.

Asimismo, y al igual que las de acero, las estructuras de hormigón tienen una cierta **capacidad de reabsorción** de esfuerzos en caso de fallo de alguno de sus elementos (hiperestáticas).

El colapso de los elementos en estructura de hormigón armado se debe fundamentalmente al **calentamiento excesivo de las armaduras** de acero que la conforman, aunque también influye la **perdida de propiedades resistentes** del hormigón cuando este se ve afectado en una profundidad considerable.

Los aspectos negativos de las estructuras de hormigón armado son:

1. No se producen deformaciones apreciables en la estructura que anuncien o hagan intuir su colapso, produciéndose este por lo general, de forma mucho más brusca que en las de acero.
2. Dificultad de observación de las grietas producidas en su masa durante el proceso del incendio (fundamentalmente en las vigas), debido a la gran cantidad de humo que se condensa o acumula.

Las estructuras de hormigón armado tienen como aspectos positivos:

1. No son combustibles y por lo tanto no contribuyen al aumento de la carga térmica
2. No suelen propagar el calor con facilidad.
3. Aunque el calor provoca dilataciones finales del hormigón iguales a las del acero, aquellas son mucho más lentas, facilitando por ello una redistribución gradual de los esfuerzos estructurales que se producen.

4. Comportamiento del fuego en estructuras de muros de carga

Tienen en general un **buen comportamiento frente al fuego**, el espesor de los muros y su propia inercia térmica les confieren un **buen grado de seguridad** frente al incendio.

El problema fundamental de este tipo de estructuras está en la existencia de **lesiones por disgregación**, desplomes, asientos, etc., que puedan verse agravadas por las **sobrecargas del agua de extinción**, o por las producidas a causa del **desplome de forjados**.

En general, los **forjados de vigueta y revoltón**, no suelen colapsar en grandes superficies, sino de forma gradual y paulatina, por zonas o tramadas.

En el caso de desprendimiento de varios forjados, existe el peligro de **desplome de muros** por falta de trabazón y **arriostramiento** entre ellos.

CONSIDERACIONES PRACTICAS Y GENERALES

• **La evolución y comportamiento de las estructuras de madera** se puede ver alterada de forma sustancial si está afectada por humedades, pudriciones, insectos xilófagos y por la existencia de herrajes metálicos en sus uniones.

Por ello hay que tener un especial cuidado en observar los vicios y defectos que ocultan, así como con la carga térmica que pueden aportar y la potencia calorífica que pudieran desarrollar.

- **En las estructuras metálicas**, es importante no tirar agua directamente sobre las mismas si previamente estas ya han sido calentadas con cierta intensidad (las contracciones suelen ser más peligrosas que las propias dilataciones), ya que se pueden producir enfriamientos bruscos que provoquen tensiones internas y fragilización del elemento, junto al propio fenómeno de contracción.

Hay que vigilar la evolución de la misma en el periodo de enfriamiento posterior a la extinción, pues se pueden desprender a causa de dicha contracción.

Los muros donde apoyan cerchas metálicas suelen desplomarse hacia el interior de la nave.

- **La evolución de las estructuras de hormigón** debe seguirse a través de las posibles grietas y fisuras de sus elementos (sintomatología principal) y otros síntomas adicionales (deformaciones, disgregaciones, desagregaciones, hinchamientos, abombamientos, cambios de coloración, etc.). Por ello es importante ver si las fisuras son recientes o no y controlar su evolución.

Hay que tener especial cuidado con las fisuras paralelas a las caras de los pilares y las cortantes que se producen en pilares, vigas y forjados.

- **En las estructuras mixtas y de muros de carga**, hay que prever el comportamiento de cada uno de los elementos que la componen (potencia calorífica, diferente dilatación, etc...), suelen ser peligrosas debido a ese diferente comportamiento.

Hay que tener sumo cuidado cuando nos encontremos con una estructura que tiene pilares de hormigón y vigas metálicas, vigilando fundamentalmente los nudos de unión en la cabeza de los pilares.

En las estructuras de muro de carga hay que fijarse en las roturas que se producen en los materiales que las componen, siendo de especial observación las zonas cercanas a sus aristas y nervios, lo cual nos da un síntoma de como se encuentran y las tensiones internas que se han producido.

- **En todas las estructuras** que hemos analizado, es conveniente siempre observar y analizar las posibles y diversas grietas y fisuras que suelen aparecer en los elementos de cerramiento y en los solados de los pisos, pues son un buen indicativo de la evolución que sigue la estructura y con ello cual puede ser el comportamiento más o menos inmediato que van a tener.

Por otro lado, debemos estudiar como están compuestas dichas estructuras, como trabajan o soportan los esfuerzos, que capacidades de reacción y resistencia al fuego poseen y cual es el estado general de conservación y mantenimiento que poseen.

LA PROPAGACIÓN DEL FUEGO EN INCENDIOS DE EDIFICIOS

Cuando se genera un incendio en una edificación, puede propagarse de tres formas distintas: radiación, convección y conducción, o incluso por varias combinaciones de estas.

Propagación por Radiación

Es el medio en el que el fuego se desplaza a través de ondas de calor, calentando los objetos más cercanos en todas las direcciones, hasta llegar a una materia próxima.

Propagación por Convección

En este medio, el calor es desplazado por gases calientes o el aire, debido a la ligereza que se obtiene de los gases al dilatarse por causa de calentamiento.

El humo y los gases que se producen por causa del fuego, ascienden calentando todo a su paso, provocando la generación de altas temperaturas, que traen como consecuencia la ignición de la materia.

Un ejemplo puede ser el desplazamiento del calor a través del hueco de una escalera. Los gases o el humo caliente se desplazan hacia arriba, chocando con puertas y ventanas cerradas, provocando una saturación de calor en el espacio, y propagándose en otros niveles de la edificación.

Propagación por Conducción

Por este medio el fuego se propaga directamente a otra materia a través de un material o sustancia que dependerá básicamente de su conductividad y características de composición del mismo.

De ahí la importancia de conocer la conductividad de los materiales a la hora de construir una edificación, pues así como existen materiales buenos conductores, como el metal, también los hay malos conductores, como el hormigón, piedras y otros.

En la primera fase, el calor de un incendio se transmite por radiación y una mínima parte de este, es transmitida por convección. En el desarrollo del incendio, el calor que es transmitido por radiación disminuye y aumenta el calor transmitido por convección, y sólo una pequeña parte del calor es transmitido por conducción entre los materiales conductores presentes en el espacio donde es generado el incendio.



En el momento en que el incendio se desarrolla en su totalidad, es cuando inicia el proceso de propagación del fuego al resto de la edificación.

De la geometría de la edificación, ubicación y materialidad de puertas y ventanas, conductos de ventilación, y otros, también dependerá la propagación del fuego a causa de los movimientos de las llamas y los humos.

1. PROPAGACIÓN EXTERIOR DEL FUEGO EN EDIFICACIONES

La propagación del fuego a través de las fachadas es considerada como una de las vías más rápidas de desarrollo de un incendio, debido a la presencia de ciertos factores que favorecen la dinámica y crecimiento del incendio como:

- Concentración de los comburentes y combustibles.
- La superficie específica expuesta al ataque del fuego.
- Condiciones del entorno y geometría del escenario.
- Condiciones climatológicas.
- Tamaño, número y distribución de los huecos de ventilación.
- Propiedades térmicas de los cerramientos del recinto.
- Tamaño, composición y localización de las fuentes de combustible que se incendian en primer lugar.
- Disponibilidad y ubicación de fuentes de combustible adicionales.
- Correcto funcionamiento de las medidas de protección activa y pasiva del recinto.

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA PROPAGACIÓN DEL FUEGO

La potencia y localización de la fuente de ignición

Las fuentes de ignición pueden ser muy diversas desde una ignición originada por un cigarrillo, que equivale a unos 5kw, hasta un incendio intencionado de un material combustible.

De igual forma los aspectos relevantes en este sentido son la cantidad de energía de la fuente y su rapidez.

La localización de un incendio es importante para la propagación de un incendio dado que esta ignición puede darse o no en la cercanías de otros materiales combustibles o elementos de la edificación que servirían de conductores del fuego.

Propiedades de los materiales, posición, espaciado, orientación y área superficial expuesta al incendio de los combustibles

El tipo de material que se encuentra en una edificación es uno de los factores principales en el desarrollo de un incendio.

Estos materiales suelen ser sólidos provenientes de los mobiliarios que pueden comportarse de manera diferente según su composición.

Por otro parte el uso de materiales polímeros y su rápida, aunque corta capacidad de combustión y emisiones tóxicas, resulta ser preocupante desde el punto de vista de la seguridad contra incendio.

Además la geometría y configuración del material combustible pueden condicionar la velocidad de propagación.

Espaciado y orientación de los combustibles

Una orientación vertical de los combustibles propagará el fuego de manera más rápida que una orientada de manera horizontal. Por lo que los materiales de revestimiento causan una rápida propagación.

Geometría del recinto

La característica del recinto es decisiva para el desarrollo del incendio.

Se debe considerar que el propio recinto o sus elementos pueden funcionar como elementos de conducción.

Un elemento (muro o forjado) puede emitir calor por radiación hacia elementos que están en combustión ayudando a incrementar la velocidad de propagación hacia otro combustible cercano en el recinto.

Se debe considerar el tamaño del recinto ya que en un recinto pequeño, un objeto en combustión puede generar altas temperaturas rápidamente. Por el contrario, si el objeto estuviese en un compartimento amplio los gases y temperatura no se acumularían de la misma forma, el crecimiento del fuego sería menor.

Asimismo la altura de los techos se ve reflejada en este factor. En recintos con techos altos, la temperatura será menor debido a la entrada de aire fresco. Si el recinto tiene una superficie de planta amplia es posible que el fuego y humos no alcancen el techo, por lo que el retorno del calor al combustible será menor.

Factor de ventilación

La ventilación provee el oxígeno necesario para el desarrollo del fuego. Sin embargo, la mezcla de aire y combustible o relación estequiometría debe ser la ideal.

En otro caso, si uno de ellos está en exceso, entonces el otro controla la velocidad de reacción del incendio.



La **relación estequiometria** se define como la perfecta cantidad de aire y combustible.

Al inicio de un incendio suele haber exceso de oxidante (oxígeno, aire) y se considera controlado por el combustible. Mientras que un incendio desarrollado está controlado por la ventilación por su exceso de combustible.

Tamaño y localización de las aberturas

El tamaño, cantidad y localización de los huecos de aberturas son el factor que controla el caudal y flujo de aire entrante al recinto.

Estos pueden hacer variar la ventilación y con ello las condiciones de desarrollo de un incendio.

- **“El factor de apertura, o parámetro geométrico de ventilación, el cual está determinado por el tamaño de las ventanas y define el monto de ventilación que fluye hacia el recinto, se expresa como:”**

$$x = A_v \sqrt{H_v}$$

A_v = es el área de la ventana.

H_v = es la altura de la ventana.

Este factor permite calcular la cantidad de aire o penacho de fuego que fluye hacia el interior del recinto a través del hueco en cuestión.

VÍAS PRINCIPALES DE PROPAGACIÓN

La propagación en una fachada o exterior de una edificación puede ocurrir en función de su tipología y diseño por cuatro vías principales, o por la combinación de estas:

A través de las ventanas, efecto Leap Frog o salto de rana

Es la capacidad del incendio para propagarse entre las distintas plantas de la edificación, de forma ascendente y secuencial, a través de las ventanas.

Cuando se genera un incendio en una sala contigua a la fachada, la temperatura subirá hasta alcanzar la combustión de los elementos presentes en el recinto.

Los cristales de las ventanas estallarán provocando el crecimiento de las llamas y dando paso al fuego a través de estas, proyectando una energía calorífica suficientemente elevada para alcanzar la rotura de las ventanas de pisos superiores, dando lugar a la producción de un fuego secundario, que se alimenta de los objetos colocados en las inmediaciones de estas y como consecuencia la propagación ascendente.

La propagación del fuego en cualquier tipo de fachada podría ser minimizada mediante elementos salientes que impidan el paso del fuego.

Fachadas tipo muros cortina

La segunda vía de propagación se da en las fachadas tipo muros cortina, a través del espacio formado entre el forjado y la fachada.

El incendio puede alcanzar hasta 1000° C de temperatura, propiciando condiciones de gran presión en las que el fuego y los gases pueden entrar por cualquier fisura en los cerramientos entre plantas.

Fachadas con cámara ventilada

La tercera vía de propagación ocurre en las fachadas con cámara ventilada, es la vía de propagación más rápida según estudios realizados en el BRE Building Research Establishment británico, puede ser de cinco a diez veces más rápida que la ocasionada por el efecto leap frog.

Este tipo de fachadas se caracterizan por la constante circulación de aire natural a través de la cámara, lo que se convierte en un factor crítico en situación de incendio al favorecer su dinámica.

Además, si el aislamiento térmico que se ubica dentro de la cámara es un material combustible, que es lo más común, contribuirá significativamente a la propagación a través de la misma.

Revestimientos combustibles

La cuarta vía de propagación se produce a través de los revestimientos combustibles colocados en las fachadas de las edificaciones.

Estos revestimientos pueden dar lugar a un incendio de gran intensidad capaz de emitir una elevada radiación y, adicional a eso, suelen generar humos tóxicos y desprender partes del material de revestimiento o gotas incandescentes durante su proceso de degradación.



Vía 1: Fachada Convencional de Bloques o ladrillos.

Vía 2: Fachada de Vidrio Muro Cortina.

Vía 3: Fachada Ventilada.

Vía 4: Fachada con Revestimiento o Aislante Térmico.

Los elementos verticales separadores de otro edificio deben ser resistentes al fuego con el fin de limitar el riesgo de propagación exterior horizontal del incendio a través de la fachada entre dos sectores de incendio, entre una zona de riesgo especial alto y otras zonas o hacia una escalera protegida o pasillo protegido desde otras zonas, los puntos de sus fachadas deben estar separados a una distancia que debe ser calculada de acuerdo a lo que establece el Código.

Con el fin de limitar el riesgo de propagación vertical del incendio por fachada entre dos sectores, y en caso de existir elementos salientes aptos para impedir el paso de las llamas de un incendio, debe haber una franja de 1 m de altura, como mínimo, sobre el plano de la fachada.

Los elementos que componen las edificaciones en su exterior, deben cumplir con ciertos requisitos de resistencia al fuego para evitar la propagación de este a otras edificaciones.

2. PROPAGACIÓN INTERIOR DEL FUEGO EN EDIFICACIONES

Cuando se produce un incendio en el interior de un espacio, el fuego se alimenta con los elementos con características combustibles presentes. En la fase de desarrollo total del incendio, lo más probable es la propagación de este por toda la edificación, ya sea por las distintas formas de propagación mencionadas anteriormente.

La propagación en el interior de una edificación puede ocurrir de diversas formas: los huecos de puertas, ventanas, conductos de ventilación, núcleo de escaleras, espacios entre techos y falsos techos, conductos eléctricos que no estén debidamente sellados o cualquier cavidad que exista en la edificación que comunique con otras partes del edificio.

Al propagarse por el interior de una edificación, el fuego puede recorrer varios recintos en el mismo piso en que se origina, también llamada **propagación horizontal**.



Al igual que puede extenderse a niveles superiores de la edificación a través de cavidades o escaleras, conocida como **propagación vertical**, o incluso **extenderse a edificaciones próximas**.



Como se mencionó anteriormente, es importante compartimentar o subdividir en varias secciones los edificios, sin importar el uso al cual está destinado, para evitar la propagación del fuego y para el traslado de sus ocupantes, en caso de incendio o emergencia.

CARACTERÍSTICAS DE LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES

Sumario: La presión de vapor de líquidos inflamables. Punto de ebullición de líquidos inflamables. Punto de inflamación de líquidos inflamables. Punto de autoinflamación de líquidos inflamables. Rango de inflamabilidad de líquidos inflamables.

Características físico químicas de líquidos inflamables

Existe una serie de características fisicoquímicas que es conveniente que conozcamos y tengamos presentes de cara a una intervención en la que se hallen involucrados líquidos inflamables.

1. La presión de vapor de los líquidos inflamables

Cuanto mayor sea la presión de vapor del líquido, mayor será la cantidad de vapores inflamables que éste emane a una temperatura determinada y, por tanto, mayor será el riesgo de una potencial inflamación.

En justa medida, deberemos extremar las medidas de protección controlando de forma más estricta todas las posibles fuentes de ignición.

Un ejemplo sencillo se puede establecer entre la gasolina y el gasoil.

La **presión de vapor de la gasolina** es de 190 mm de mercurio a 20°C mientras que la del gasoil es de tan sólo 2,6 mm de mercurio a 50°C.

Como sabemos, es mucho más fácil que se inflame un derrame de gasolina que uno de gasoil, hecho que es debido, principalmente, a la mayor presión de vapor de la gasolina que lleva consigo, como hemos comentado, una mayor emanación de vapores.

2. El punto de ebullición en líquidos inflamables

Se denomina punto de ebullición a la temperatura a la cual se iguala la presión de equilibrio del vapor de un líquido con la presión atmosférica total existente en su superficie.

El punto de ebullición normal será aquella temperatura a la cual una sustancia pasa de líquido a vapor a la presión de 1 atmósfera.

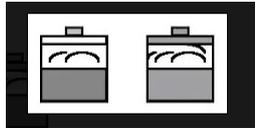
El punto de ebullición está inversamente relacionado con la presión de vapor, de modo que, sustancias con una elevada presión de vapor presentan un bajo punto o temperatura de ebullición.

El poseer un bajo punto de ebullición supone dificultades añadidas a la hora de la extinción. Así, ciertos terpenos y éteres arden con una considerable ebullición de la superficie del líquido presentando una muy difícil extinción.

3. El punto de inflamación en líquidos inflamables

Se denomina punto de inflamación a la temperatura mínima a la que un líquido desprende suficiente cantidad de vapores que, en contacto con el aire, forman una mezcla capaz de arder en las proximidades de la superficie del líquido.

Cuanto menor sea la temperatura de inflamación, mayor riesgo de que se produzca un incendio en caso de accidente y, por tanto, deberemos extremar las medidas de precaución, en especial, ampliando la zona de riesgo y realizando un control más exhaustivo de las posibles fuentes de ignición.



4. El punto de autoinflamación en líquidos inflamables

Punto de autoinflamación en líquidos inflamables: es la mínima temperatura por encima de la cual una mezcla de vapores inflamables, en presencia de aire, son susceptibles de inflamarse sin necesidad de una fuente de ignición externa.

Lógicamente, a menor temperatura de autoinflamación, mayor riesgo de que se produzca una combustión no deseada.

5. El rango de inflamabilidad en líquidos inflamables

Cuanto más amplio sea el mismo, y dependiendo de cuales sean sus valores límites concretos, mayor será el riesgo de que los vapores sean susceptibles de ser inflamados en una atmósfera, local o situación determinada.

Un gran número de productos, entre los cuales podríamos incluir varios de uso muy frecuente como la gasolina, el gasoil, o el tolueno, presentan valores para su límite inferior y superior de inflamabilidad que se sitúan en torno al 1% para el primero y el 7% para el segundo.

Otros líquidos inflamables, en cambio, presentan valores bien distintos, como es el caso del alcohol metílico con el 7% para su L.I.I. y el 36% para su L.S.I.

6. La densidad del líquido inflamable

La inmensa mayoría de los líquidos inflamables son menos densos que el agua, de forma que, en cualquier situación, que entren en contacto con la misma tenderán a situarse en la superficie.

Así pues, debemos considerar esta circunstancia cuando, por una u otra razón, un derrame de estos productos alcance el mar, un río o cualquier otra área con presencia de agua.

El sulfuro de carbono es uno de los pocos líquidos inflamables con mayor densidad que el agua, y además no soluble en ésta. Los fuegos en los depósitos y derrames de estos productos pueden ser extinguidos por la separación de sus vapores y el aire mediante la formación de una capa de agua sobre los mismos.

7. La solubilidad en el agua de líquidos inflamables

Existen **líquidos inflamables solubles y no solubles en el agua**.

La mayoría de los alcoholes, la acetona, y otros, pertenecen al primer grupo. Los hidrocarburos, en cambio, suelen ser no solubles en el agua, si siéndolo en disolventes orgánicos.

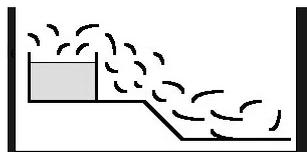
Considerando este aspecto podemos prever el comportamiento que va a tener un determinado producto cuando se ponga en contacto con agua. Una consecuencia clara de este hecho es la conveniencia de emplear espuma de la conocida como antialcohol en el derrame de líquidos inflamables solubles en agua.

Frente a líquidos solubles en agua también podemos emplear la extinción por dilución con agua. La solución resultante, líquido-agua, es menos volátil que el líquido sólo, según el grado de dilución con el agua, y la combustión puede cesar por dejar de haber una cantidad suficiente de vapores inflamables.

Sin embargo, no puede confiarse comúnmente en la extinción por dilución debido a la gran cantidad de agua que se puede necesitar para conseguir este objetivo. Además, existe el riesgo de que pueda producirse una espumación si el líquido incendiado alcanza una temperatura superior a la temperatura de ebullición del agua.

8. La densidad de los vapores en líquidos inflamables

La inmensa mayoría de los líquidos inflamables desprenden vapores que son más densos que el aire.



Éste es un hecho a tener presente ya que los citados vapores van a situarse en las zonas más bajas del terreno, pudiendo dar lugar a bolsas susceptibles de ser inflamadas en caso de aporte de una fuente de ignición.

BOILOVER, SLOPOVER, FROTHOVER, FIRE BALL

Rebosamiento por ebullición en petróleos crudos

En **incendios** sostenidos de **petróleo crudos** se produce generalmente la aparición de ondas de calor que desde la superficie ardiente del tanque van progresando hacia el fondo, transmitiendo calor al resto de la masa del combustible almacenado.

Estas **ondas de calor** alcanzan fácilmente temperaturas del orden de los 150 / 320°C siendo evidente que al encontrarse con capas acuosas o emulsiones, se producirá la evaporación violenta del agua, con características explosivas.

El **punto de ebullición del agua** es de 100°C y al pasar del estado líquido al gaseosos, su aumento de volumen es de 1600 veces el del original.

Producida esta **expansión** se proyecta el petróleo que se encuentra por encima del agua evaporada y el combustible incendiada es arrojado fuera del tanque que lo contiene, propulsándose a una altura que puede alcanzar 10 veces el diámetro del recipiente.

Mecanismo de Producción

Cuando un **tanque** cuyo contenido es un combustible como el **petróleo crudo** con un amplio rango de puntos de ebullición comienza a arder, las fracciones más ligeras lo hacen primero.

Así, los componentes de menor peso y menor punto de ebullición ascienden hacia la superficie, alimentando el fuego, mientras que las de mayor peso y mayor temperatura de ebullición, se hunden en la masa del crudo formando un frente que va calentando paulatinamente las zonas frías del fondo. Tal penetración se acentúa mientras dura el incendio, denominándose a este frente **onda de calor**.

A su vez, **la combustión** que tiene lugar cerca de la superficie libre del líquido, devuelve a este calor radiante, reciclándose el proceso de forma tal que la onda de calor se hace más densa y caliente, alcanzando temperaturas superiores a los 150°C, desprendiéndose los derivados ligeros hasta su eliminación.

En realidad, el **aumento de la temperatura** de la masa de combustible, se genera en pasos progresivos.

A medida que los derivados ligeros son quemados y consumidos, disminuye el espacio de vapor entre la base de la llama y la superficie o espejo del petróleo, aumentando rápidamente su temperatura cuando no hay más derivados ligeros disponibles para la destilación de los derivados pesados, aumentando la temperatura de la onda de calor hasta superar los 300°C en algunos crudos.

Estos **derivados pesados** se hunden a través de la mezcla de hidrocarburos, hasta que alcanzan el equilibrio del peso específico del petróleo.

La onda de calor sigue descendiendo y destilando las fracciones ligeras, progresando a una velocidad que se estima entre los 0,30 a 1m/hora.

Cuando la onda llega a la capa de agua o de emulsión acuosa, primero la sobrecalienta y luego produce la vaporación del agua, provocando una explosión que propulsa el líquido combustible por efecto de la fuerza de esta gigante burbuja, proyectándolo al exterior y permitiendo la **ignición generalizada** de la mezcla de hidrocarburos.

Ondas de calor en días lluviosos

Se ha verificado que cualquier elemento que toma calor de la onda térmica retarda su penetración.

Pruebas efectuadas en días lluviosos y de sol, demuestran que durante la lluvia la onda de calor está prácticamente detenida o progresa muy lentamente, recomenzando la penetración cuando la lluvia cesa. De ello se desprende la importancia de la **refrigeración**.

¿Por qué en destilados no se forma la onda de calor?

Existen varias razones: la más importante de éstas es la **estrecha escala de ebullición** del producto destilado. El producto inmediato al de la superficie en llamas, no tiene la suficiente diferencia de peso específico como para llegar al fondo a través del producto.

Arden formando **vapores** a una velocidad muy alta, empleando su energía calórica en el cambio de estado y sin transmitir calor a las capas inferiores adyacentes.

(Fig.1).

Condiciones para la producción de Boilover:

- Un fuego en un estanque con techo abierto.
- Agua o emulsión acuosa en el fondo del tanque.
- Formación de onda de calor en la masa del líquido que contendrá componentes de distinto punto de ebullición.
- El aceite o crudo contendrá productos pesados.

Operaciones de extinción

Como ya se ha expresado, corresponde a los **líquidos más ligeros y de menor punto de ebullición y viscosidad**, la condición de arder con mayor velocidad, sin dar tiempo a que el calor se transmita desde la superficie hacia la masa del líquido, y la producción calórica de la reacción se aplica en gran porcentaje a la generación de vapores que alimenten el proceso.

De esta forma, en los líquidos ligeros la temperatura de la masa de combustible se mantiene semejante a la del ambiente, ardiendo los vapores lejos de la superficie libre, sin mayor aporte de calor hacia abajo que el radiante.

En las **operaciones de extinción** de tales productos, el proceso permite al personal mantenerse al pie del tanque prácticamente sin peligro.

En tales casos, cerca del espejo del combustible se ubica una **zona de gradiente brusco de**

temperatura, de forma que una masa grande de agua puede producir un tratamiento térmico capaz de fisurar las paredes del recipiente. (Fig. 3).

- Se estima en 1 cm/min. promedio, la **velocidad de avance de la onda de calor**,.
- En 0,1 cm/min. la **velocidad de descenso** de la superficie libre en razón del consumo del combustible.
- Se deduce que la **onda térmica** puede alcanzar el fondo del tanque, antes que se produzca la quema total del producto.

Además, la peligrosidad del petróleo crudo debido a las causas ya mencionadas, se repite en el caso de las **mezclas**.

- Un fuel-oíl con punto de evaporación del orden de los 75°C reduce el mismo a 44°C con solo adicionarle un 1% de nafta.
- Si tal proporción es del 3%, el punto de evaporación descenderá a 20°C. Esto indica la atención que deberá prestarse a las distintas mezclas o cortes de combustibles.

Una forma práctica de mensurar la existencia y avance de la onda de calor, con independencia de los productos almacenados, consiste en **barrer verticalmente con agua las paredes del recipiente**.

El punto en que se produzca la evaporación del agua nos dará una aproximación de las condiciones de **riesgo de Boilover**.

Fig.3: 1. estanque deformado, 2 corrientes interiores, 3 onda calórica, 4 capa de agua en el fondo, 5 método para determinar lugar en que se encuentra la onda calórica.

Indudablemente, cuanto mayor tiempo lleve el proceso del incendio, mayores serán las posibilidades de que sorprenda un Boilover.

Fig.2

Los **tiempos de riesgo** pueden analizarse gráficamente, (fig.1 y 2), comparándose la notoria distinción entre los productos ligeros y pesados.

Otra forma práctica de alerta a la sobrevenida de un Boilover, la da la atenta **observación de los humos**: cuando están más blancos, se denota la participación de vapor de agua.

La extinción del incendio no es garantía de seguridad respecto del Boilover, dado que aunque no exista fuego en la superficie libre, la onda calórica persiste progresando hacia la masa. De ello es que surge la necesidad de **mantener la refrigeración del recipiente**, aún después de extinguido el incendio.

Análogamente, tampoco es garantía la circunstancia de que se haya producido un Boilover. Si bien el derrame enfría algo de líquido, pasado cierto intervalo de tiempo **vuelve a repetirse el fenómeno** que se convierte luego en periódico.

El agua empleada en la extinción de crudos, sea en forma de chorro, niebla o aerospuma, deberá utilizarse con cautela limitándose a lo necesario, sin llegar a excesos que predisponen el Boilover y principalmente el SLOPOVER, también con consecuencias negativas.

El SLOPOVER es un derrame provocado por **ondas de calor de poca profundidad**, y agua proveniente en general de las operaciones contra incendio.

Figura 4: 1 el agua se transforma en vapor, 2 el contenido del estanque es proyectado al exterior, 3 el radio a 10 veces el diámetro del tanque es cubierto por la onda calórica, 4 el combustible, como lluvia ardiente, aniquila todo lo ubicado en la zona inmediata al estanque.

SLOPOVER

Rebosamiento Superficial: Este derrame puede producirse cuando se aplica un chorro de agua sobre la superficie caliente del aceite incendiado, siempre y cuando el aceite sea viscoso y su temperatura supere la del punto de ebullición del agua.

Puesto que esto es un fenómeno, solamente participa el aceite superficial, el suceso es de importancia relativa.

FROTHOVER

Rebosamiento Espumoso: Se produce en recipientes que contienen aceites minerales viscosos a altas temperaturas, pero no inflamados, cuando el agua situada bajo su superficie entra en ebullición.

Un ejemplo típico puede ser el del asfalto caliente cuando se carga en una cisterna que contiene algo de agua. El primer asfalto se enfría al contacto con el metal frío; al principio no sucede nada pero cuando el agua se calienta y comienza a hervir, el asfalto rebosa por encima de la cisterna.

Puede producirse una situación similar cuando un **depósito que contiene agua en el fondo** (o una emulsión acuosa) recibe una **carga de aceites** minerales residuales de baja calidad a temperaturas de 300°F (149°C) o más.

Cuando ha transcurrido suficiente tiempo para que **los residuos calientes alcancen el agua** que está en el fondo, puede producirse una **ebullición prolongado del agua**, que llega a hacer saltar la tapa del depósito y esparcir una **espuma aceitosa** en una superficie bastante extensa.

BOLA DE FUEGO (FIRE BALL)

Éste **fenómeno de explosión** es común en depósitos sometidos a una **sobre presión** debido a un **calentamiento súbito** y que en un lapso corto de tiempo es vencida su resistencia, produciendo una **bola de fuego**.

Uno de los ejemplos más comunes son las explosiones en los tambores de 200 litros de capacidad o menores capacidades, la reacción violenta, en medida de tiempo dependerá del líquido almacenado.

Este tipo de reacciones trae como consecuencia la **explosión de tambores** que se encuentren al lado de este, provocando una **reacción en cadena**.

Esta reacción acarrea **altísimo riesgo para los Bomberos**, pues la bola de fuego, que desprenden altas temperaturas le acompaña la **onda expansiva de choque**, las partes metálicas de estos envases que salen despedidas hacia todos lados, arrojando inflamable en estado líquido.

<https://www.murciasalud.es/web/sanidad-ambiental/contaminacion-del-aire-ambiente>