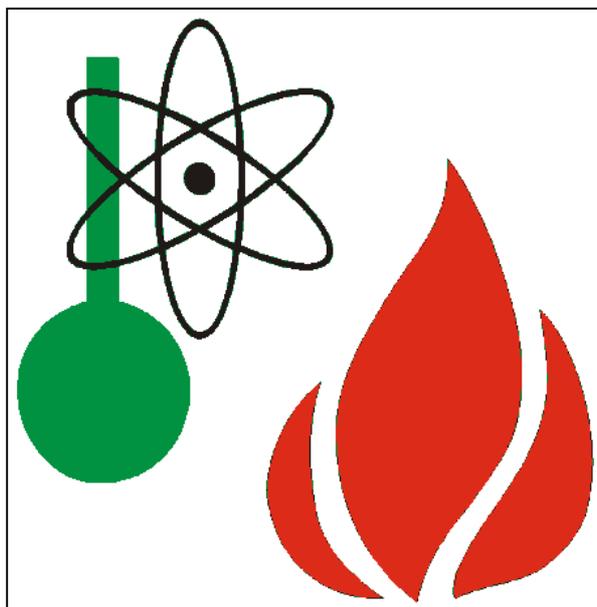


Física y Química relacionada con el Fuego y los Combustibles



Juan Miguel Suay Belenguer
Ingeniero Superior Industrial

Conceptos Básicos de Física y Química Relacionados con el Fuego y los Combustibles



por

Juan Miguel Suay Belenguer
Ingeniero Superior Industrial
Técnico de Emergencias del
Consortio Provincial de Bomberos de Alicante

© 2002. **Juan Miguel Suay Belenguer.**
C/ El de Pagan, 44, bungalow 37.
San Juan de Alicante (Alicante)
España – Spain.
jm_suay@inves.es

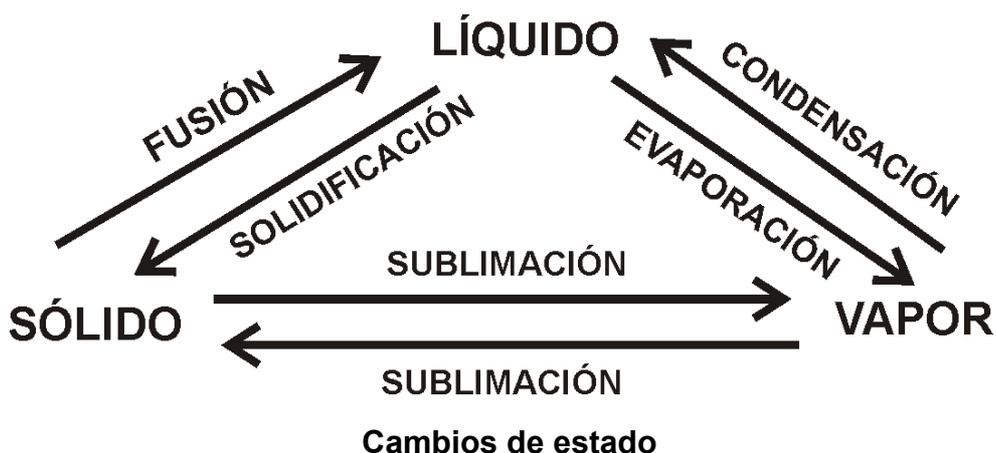
Conceptos Básicos de Física y Química Relacionados con el Fuego y los Combustibles

Física

Estados de la materia

Una sustancia se puede presentar en estado **sólido**, **líquido** y **gaseoso**. La diferencia entre los estados de la materia se debe a las fuerzas de cohesión interna de las moléculas, características de cada sustancia. Estas fuerzas de cohesión varían con la temperatura y la presión y su variación provocará lo que se conoce como **cambio de estado**.

Los **cambios de estado** son:



Se conoce como **punto de fusión** de una sustancia a la temperatura a la que se produce el paso de sólido a líquido. El **punto de ebullición** es la temperatura a la que la sustancia cambia de líquido a gas.

Calor específico de una sustancia: es el calor (energía) necesario para elevar la temperatura de un gramo sustancia un grado centígrado¹.

Calor latente de fusión: es la energía o calor absorbido por gramo de un sólido para cambiar a estado líquido.

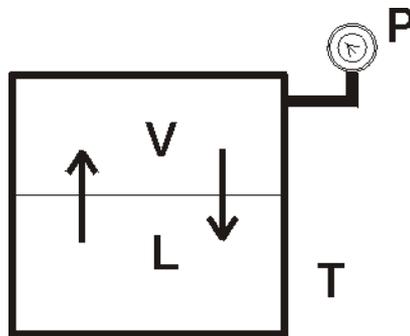
Calor latente de vaporización: es la energía absorbida por un gramo de un líquido para cambiar a su estado gaseoso.

¹ La caloría es la energía necesaria para elevar un grado centígrado un gramo de agua. (1 cal = 4,18 julios)

Los calores específico y latentes son característicos de cada sustancia.

Equilibrio Líquido-vapor

Todas las sustancias en fase líquida y en algunos sólidos, poseen un tipo de movimiento molecular que produce, cuando no están confinadas, el escape de moléculas de vapor desde su superficie. Cuando se deja agua en un recipiente abierto a temperatura ambiente, sus moléculas se evaporan. Si el agua se introduce en un recipiente parcialmente lleno y cerrado, las moléculas de agua continúan escapando de la superficie, sin embargo, como no pueden escapar del recipiente algunas de ellas retornan al agua líquida. Se produce una situación de equilibrio entre las moléculas que escapan del agua y las que vuelven a la misma. Cuando se alcanza el equilibrio, se ejerce una cierta presión en el espacio vacío por encima de la superficie del líquido. A esta presión se le denomina **presión de vapor** del líquido a la temperatura T.



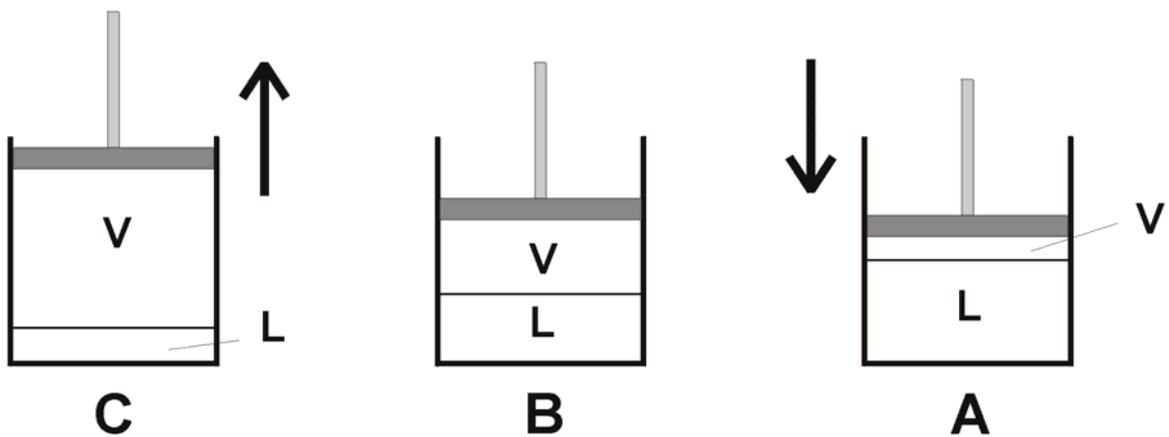
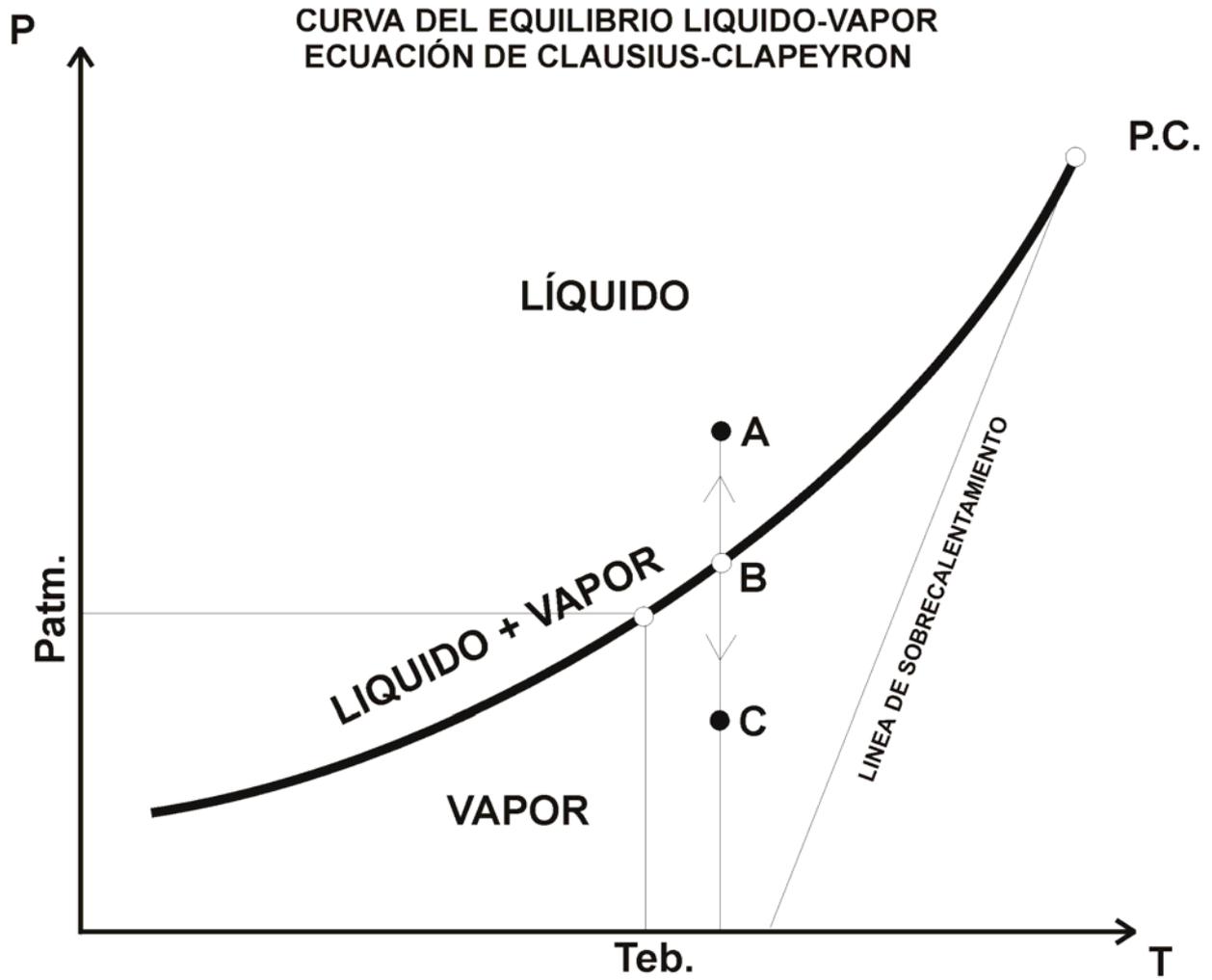
Si variamos la temperatura el equilibrio se producirá a otra presión. Si representamos en una gráfica la curva presión frente a temperatura, surge la conocida como **Curva de equilibrio de CLAIUS-CLAPEYRON**. Se ve que un aumento de temperatura conlleva un aumento de presión.

En un recipiente abierto actúa la presión atmosférica. La **temperatura de ebullición** de una sustancia, será aquella en que la presión de vapor es igual a una atmósfera (1 bar).

El aumento de presión y temperatura, no es siempre creciente, sino que se termina en un punto denominado **Punto crítico (P.C.)**, que es la temperatura y presión a partir de la cual una sustancia no puede permanecer en equilibrio líquido- vapor, a partir de este punto la sustancia es gas.

Toda combinación de presión y temperatura que se encuentre sobre la curva coexistirán las dos fases, por encima es la zona de líquido y por debajo de la misma es la de vapor.

La **Línea de sobrecalentamiento** es una recta tangente al **punto crítico** que representa una condición de equilibrio, que tiene importancia en la aparición de la ebullición en masa y su explicación se sale de los objetivos de estos apuntes.



Un **líquido sobrecalentado** es aquel que se encuentra a una temperatura muy superior a su punto de ebullición, como consecuencia de encontrarse en un recipiente a presión.

Temperaturas y presiones críticas de algunos gases y su punto de ebullición

	Temperatura crítica (° C)	Presión crítica (bar)	Punto de ebullición a 1 bar
Aire	-140,6	36,2	-195
Hidrógeno	-239,9	12,8	20,4 °K
Nitrógeno	-146,8	33,5	-195
Oxígeno	-118,3	50,1	-183
Metano	-82,6	45,4	-161
Dióxido de Carbono	31,0	72,8	-78
Cloro	144,0	76,1	-34
Butano	152,0	37,7	-0,4
Propano	96,6	41,9	-42

La **densidad de vapor** es una propiedad física de gran importancia para los miembros de los servicios de extinción de incendios. Ya que nos indicará si los vapores de un líquido son más o menos pesados que el aire y se acumularán en las partes bajas o altas del edificio.

La densidad de vapor de una sustancia varía con el peso total de todos los átomos de una molécula de vapor de una sustancia, por lo tanto, si se conoce la composición de la misma puede determinarse el peso o densidad de su vapor comparado con el aire, según la siguiente relación:

$$d = \frac{\text{Peso molecular de la sustancia vaporizada}}{29 \text{ (peso molecular del aire)}}$$

Propiedades Generales de los Gases

Leyes de los Gases

Se puede definir un gas como una materia, que en condiciones normales de presión y temperatura (25 °C y 1 atm), con un movimiento molecular libre y al azar, se distribuye uniformemente dentro del recipiente que los almacena.

En los gases no se produce un cambio de estado (a estado líquido) a no ser que se modifique la presión y/o la temperatura. Una característica importante de un gas es su capacidad de comprimir su volumen cuando se ejercen sobre él fuerzas mecánicas que tienden a restringir el movimiento libre de las moléculas. Los líquidos y los sólidos no se comprimen con esta aplicación de fuerzas mecánicas.

La **Ley de Boyle-Mariote**, que dice que el volumen e un gas varía en proporción inversa a la presión, a temperatura constante.

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

La **Ley de Chales** dice que a presión constante, el volumen de un gas varía en proporción directa al cambio de temperatura absoluta².

$$T_1 \times V_2 = T_2 \times V_1$$

La **Ley de Gay-Lussac** dice que a volumen constante, la presión de un gas varía en proporción directa al cambio de temperatura absoluta.

$$T_1 \times P_2 = T_2 \times P_1$$

La combinación de estas tres leyes nos da la **Ecuación General de los Gases perfectos** que establece:

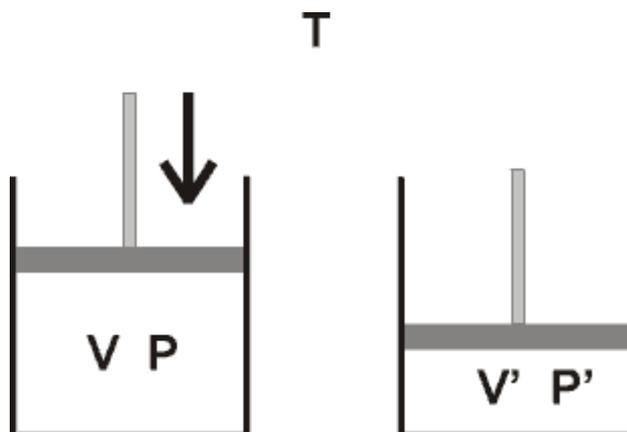
$$\frac{PV}{T} = K$$

Esta ecuación nos garantiza que el estado de un gas queda determinado conociendo la presión, la temperatura y el volumen específico.

Transformaciones Reversibles de un Gas Perfecto

Transformación isoterma

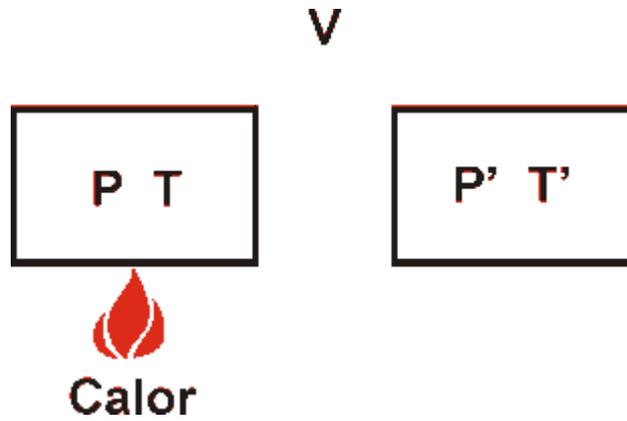
Es aquella que se produce a temperatura constante.



² Temperatura respecto al cero absoluto que es igual a 273 ° C, y se mide en grados Kelvin.

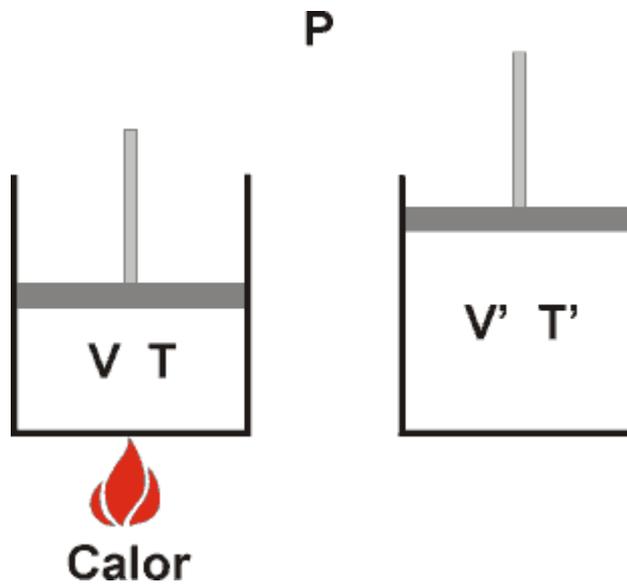
Transformación isótera o isócara

Es aquella que se produce a volumen constante.



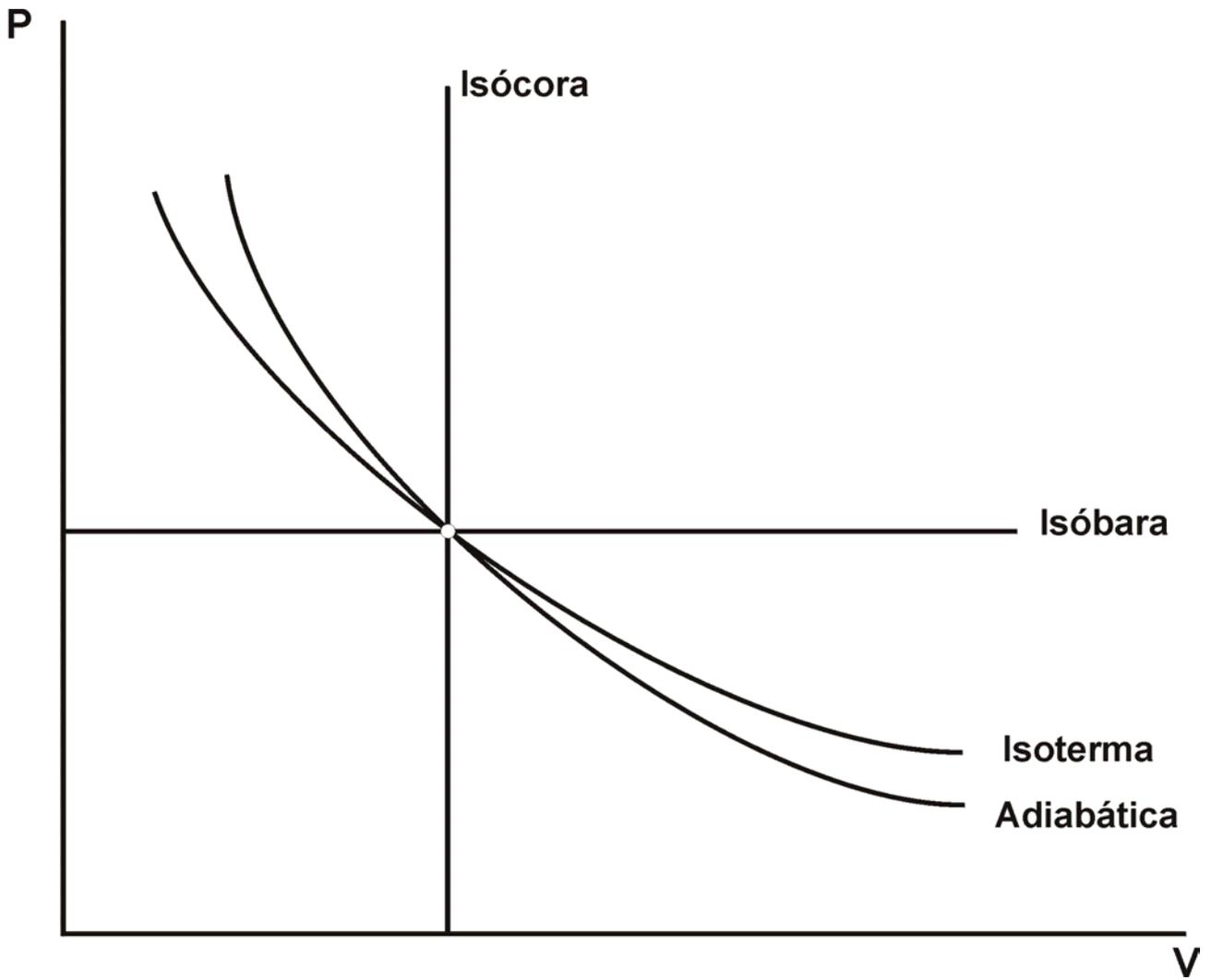
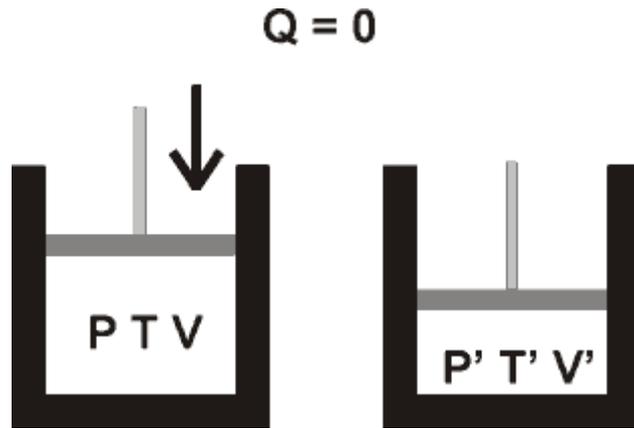
Transformación isóbara

Es aquella que se produce a presión constante.



Transformación adiabática

Es aquella que se produce en un gas ideal sin intercambio de calor

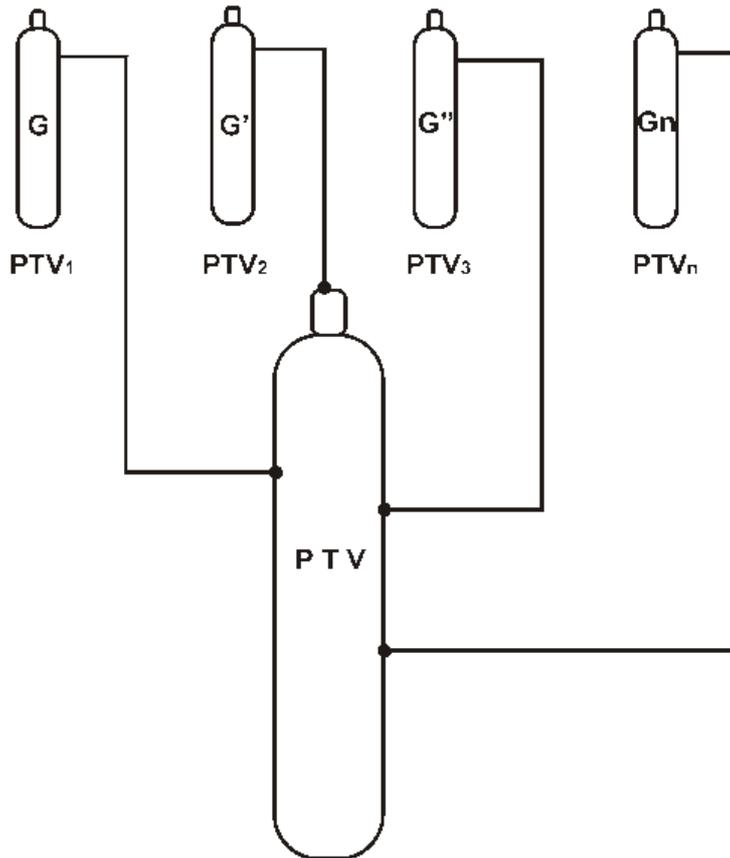


Transformaciones Reversibles de un Gas Perfecto

Mezcla y disolución de Gases

Ley de Dalton

Si tenemos varios gases perfectos, en varios recintos de diversos volúmenes (V_1, V_2, \dots, V_n) a igual presión y temperatura.



Cuando se ponen en comunicación los recintos la mezcla se hace homogénea y se mantiene la presión y la temperatura inicial de los mismos.

Sea P y T dicha presión y temperatura, la **presión parcial** de cada gas al ocupar el nuevo recinto será:

$$\begin{aligned} P_1 V &= P V_1 = K_1 T \\ P_2 V &= P V_2 = K_2 T \\ &\dots\dots\dots \\ P_3 V &= P V_3 = K_3 T \end{aligned}$$

Sumando miembro a miembro:

$$(P_1 + P_2 + \dots + P_n) V = P (V_1 + V_2 + \dots + V_n) = (K_1 + K_2 + \dots + K_n) T$$

Como:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_n$$

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

"La presión total de una mezcla gaseosa es igual a la suma de las presiones parciales que ejercían sus componentes, si cada uno de ellos ocupara individualmente el volumen total de la mezcla, a la misma temperatura"

Ley de Henry

"La cantidad de un gas que puede disolverse en un líquido a temperatura constante, es proporcional a la presión con que el gas actúa sobre la superficie del líquido"

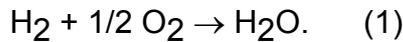


Química

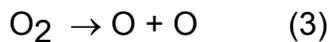
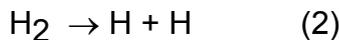
Reacción química

Una reacción química es una operación, durante la cual unos compuestos se transforman en otros. Para que esta transformación se realice es necesario que haya una mezcla de productos que intercambia energía con el medio exterior, bien absorbiendo o cediendo calor, bien realizando un trabajo mecánico o bien produciendo energía eléctrica o electromagnética.

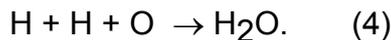
Una **reacción química** es la transformación de unas sustancias químicas en otras, como por ejemplo la formación del agua a partir de sus gases constituyentes,



Esta expresión lleva el nombre de **ecuación química**, y en ella queda reflejada la naturaleza de las sustancias **reaccionantes** (en este caso los gases hidrógeno y oxígeno) y del producto de reacción por medio de sus fórmulas químicas, precedidos por unos coeficientes que indican la cantidad de moléculas de cada especie que intervienen en la reacción. Una reacción química se caracteriza por la ruptura de ciertos enlaces químicos y la creación de enlaces nuevos. En el ejemplo anterior se producen en primer lugar las rupturas de los enlaces entre las moléculas.



y a continuación la unión de un átomo de oxígeno con dos átomos de hidrógeno,



Reacciones espontáneas y forzadas.

En algunos casos la reacción química tiene lugar sin intervención externa alguna, es decir, sin aportar desde fuera ni energía ni trabajo. Tales procesos se conocen como **procesos espontáneos**. Un ejemplo de ellos lo constituye la combustión de la gasolina, en las condiciones del interior de un motor,



La reacción inversa no es espontánea, ni en las mismas ni en diferentes condiciones. Es importante resaltar que la espontaneidad de una reacción nada tiene que ver con la rapidez con la que se produce. Por ejemplo, la formación del agua (1) es un proceso que a temperatura ambiente transcurre con mucha lentitud, de forma apenas apreciable, y sin embargo espontáneamente. La reacción se puede acelerar, por ejemplo, aumentando la temperatura, o introduciendo una sustancia **catalizadora**. En el caso de la gasolina, el papel de la chispa proporcionada por la bujía es aumentar la temperatura en el momento

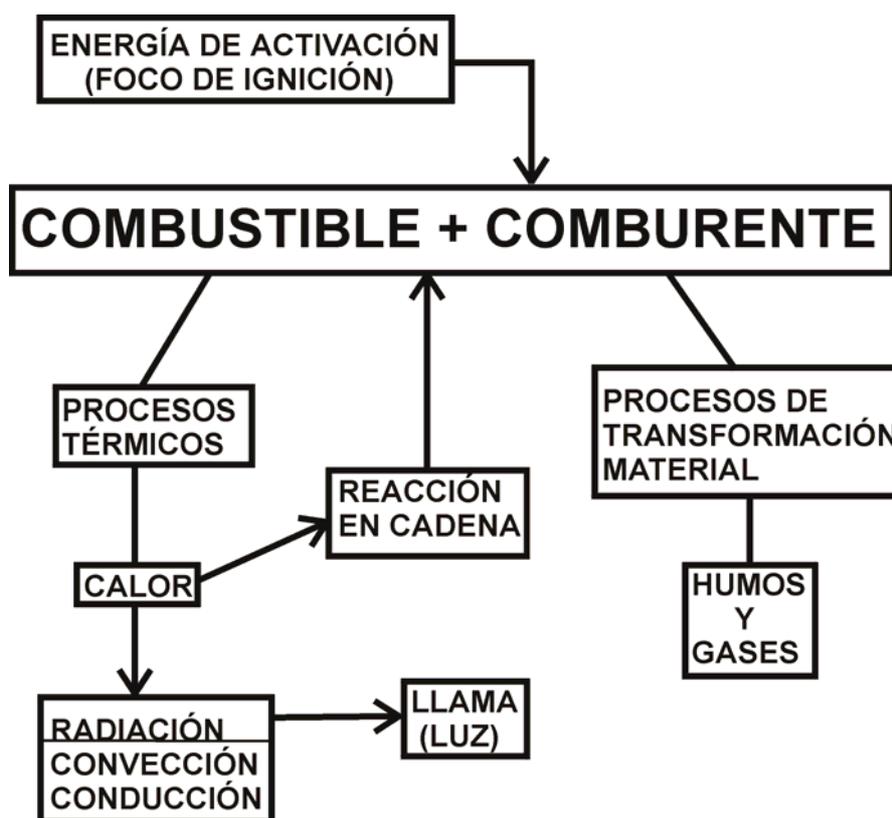
inicial, y el calor desprendido por la reacción química mantiene la temperatura necesaria para que se realice el proceso. Sin embargo, no puede haber ningún catalizador que haga que las moléculas de vapor de agua y dióxido de carbono se recombinen para formar gasolina a temperatura ambiente y presiones moderadas.

Procesos exotérmicos y endotérmicos.

Una reacción química puede tener lugar acompañada de un desprendimiento de calor o puede realizarse a expensas del calor del entorno. Así, desde un punto de vista termodinámico se tienen **reacciones exotérmicas**, cuando como resultado de la reacción se desprende energía, y **reacciones endotérmicas** cuando se absorbe calor en el proceso.

La Combustión

El fuego es una reacción química denominada **combustión**, en el que dos sustancias denominadas combustible y comburente, dan unos productos (Humos y Gases), con un desprendimiento de energía en forma de calor y luz (llamas):



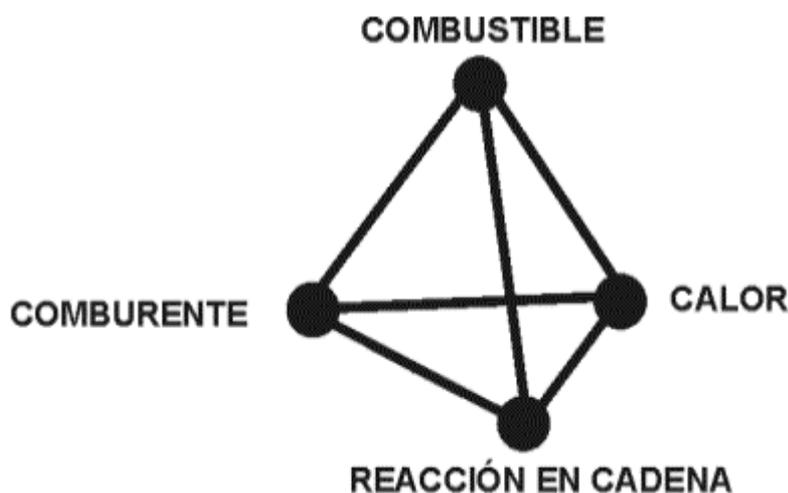
La mezcla, en una determinada proporción de **comburente** y **combustible**, no entra en ignición, al menos que se le suministre una **energía de activación**, que le proporciona un foco de ignición. Una vez iniciada la combustión se producen dos procesos, que son visibles, uno térmico y otro de transformación material.

El proceso térmico es el desprendimiento de **calor**, parte del cual se difunde en el entorno

por medio de tres formas: **Radiación** (llamas), **convección** y **conducción**. Para que la reacción se mantenga, parte de este calor debe "calentar" el **comburente** y **combustible**, generando los **radicales libres**, a este proceso se denomina **reacción en cadena**.

Según se realice esta mezcla, la combustión recibe el nombre de **combustión por aportación**, cuando se inicia y se mantiene mediante la aportación continua de una cantidad de combustible y comburente. En el caso que la combustión se inicie y desarrolle como una reacción de propagación, es decir que la ignición tiene lugar en un punto localizado de la mezcla y la combustión se propaga en un frente que separa los productos de la combustión de la mezcla sin reaccionar, a este tipo de combustión se denomina de **Mezcla Preformada**

Estos conceptos se puede resumir en el conocido **tetraedro del fuego**, en donde se esquematiza los cuatro componentes necesarios para que exista una combustión. Si se elimina uno de los vértices del tetraedro, la combustión se extingue.



Analicemos los vértices de este tetraedro.

Combustible

El combustible es el que alimenta la combustión y reaccionan siempre con el comburente en fase gaseosa.

Por tanto dado que los estados de la materia de los combustibles pueden ser tres: **sólido líquido** y **gaseoso**. Dependiendo del estado en que se encuentren deberán cambiar el mismo para que la combustión se realice en fase gaseosa.

Si tenemos un combustible sólido, para que pueda reaccionar en fase gaseosa, primero tiene que haber una aporte energético suficiente para que se destilen, es decir para que se evaporen, las sustancias liquidas que se encuentran embebidas en el combustible sólido. Este proceso se conoce como **destilación pirolítica**.

Los combustibles líquidos tan solo se les aporta el calor necesario para evaporarse.

La peligrosidad de un combustible se puede medir por medio de una serie de parámetros, que vamos a pasar a analizar:

Temperatura de ignición

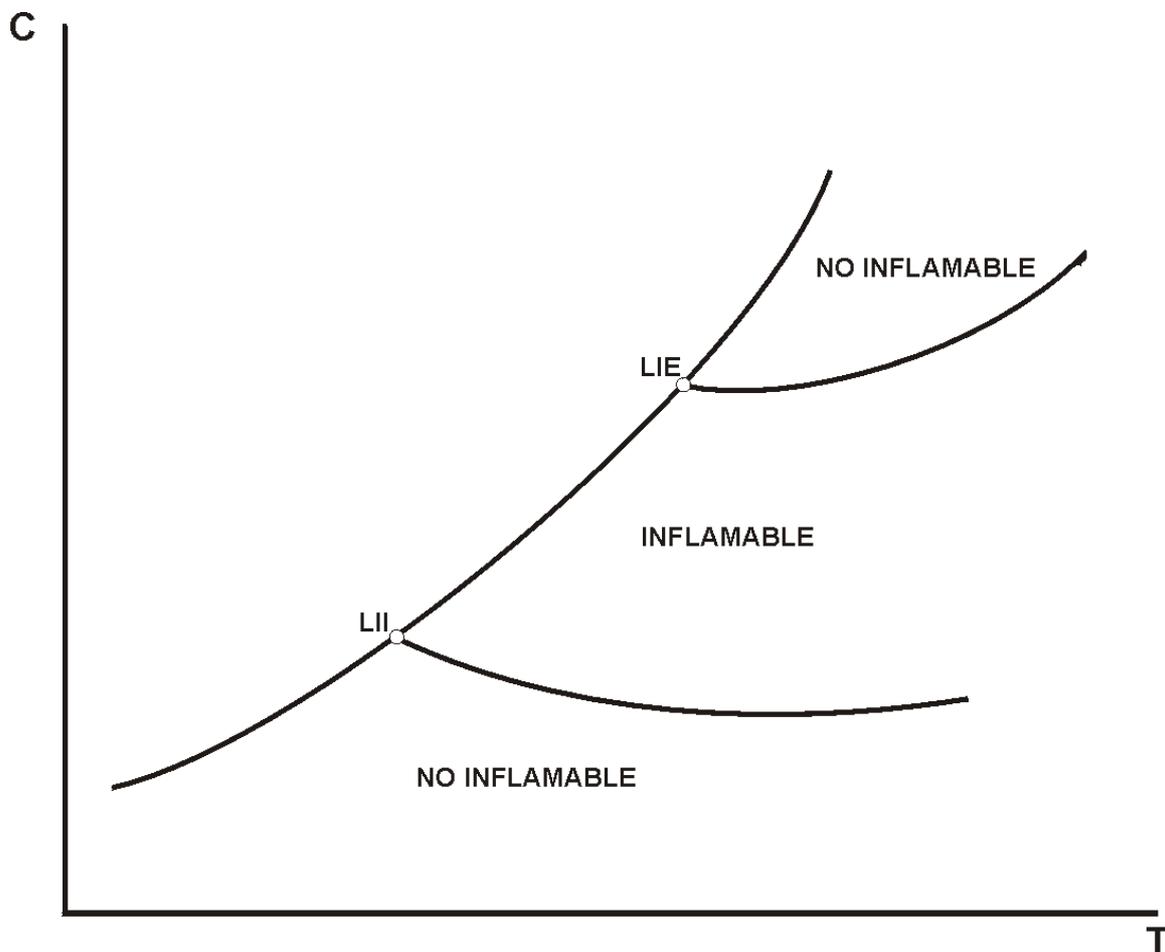
Un combustible es inflamable entre dos puntos determinados:

Límite superior de inflamabilidad (LSI), Es la máxima concentración de combustible en comburente para que se pueda iniciar la combustión.

Límite inferior de inflamabilidad (LII). Es la mínima concentración de combustible en comburente para que se pueda iniciar la combustión.

Por debajo **LII**, no hay suficiente concentración de combustible para que se inicie la combustión y por encima del **LSI** hay falta de comburente para que se produzca la combustión. A las concentraciones comprendidas entre estos límites se denomina **Rango de inflamabilidad**

El aumento de temperatura de la mezcla hace que disminuya el **LII** y que se incremente el **LSI**, es decir se produce una mayor amplitud de la mezcla inflamable.



Límites de inflamabilidad de algunos gases y vapores comunes

Gas o líquido inflamable	Límites de inflamabilidad (% en volumen en aire)	
	LII	LSI
Acetona	2,6	12,8
Acetileno	2,5	81,0
Alcohol	4,3	19,9
Benceno	1,3	7,1
Butano (GLP)	1,9	8,5
Gasolina	1,4	7,6
Hidrógeno	4,0	75,0
Jet fuel	0,6	3,7
Keroseno	0,7	5,0
Metil etil cetona	1,8	10,0
Gas Natural	3,8	17,0
Propano (GLP)	2,2	9,5
Gases de alcantarilla	6,0	17,0

Temperatura de inflamación (FLASH POINT): Es la temperatura mínima en que un combustible alcanza su LII y cualquier foco de ignición provoca su combustión. Extinguiéndose esta al retirar el mismo.

Temperatura de encendido: Es una temperatura de escala inmediatamente superior a la anterior (1 ó 2 °C) en la mayoría de los líquidos y algo mayores en sólidos y ninguna diferencia en gases. Alcanzada esta temperatura y una vez iniciada la ignición, la velocidad de aporte de vapores emitidos es suficiente para que se mantenga la llama. Si retiramos la energía de activación, se mantiene la combustión.

Temperatura de autoignición. Es la temperatura mínima para que el combustible arda espontáneamente en presencia del comburente, sin más aporte energético.

Respecto a la Combustión

Poder calorífico es la cantidad de calor que puede emitirse por unidad de masa combustible (Mcal/kg).

La **velocidad de reacción**, es la medida de la cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo en las condiciones dadas.

- **Lentas**
- **Simples** ($V_r < 1$ m/s)
- **Explosiones** ($V_r > 1$ m/s)

- Deflagración ($V_r < 350$ m/s)
- Detonación ($V_r > 350$ m/s)

La **velocidad de propagación** de la llama es la medida de la velocidad superficial de propagación de las llamas en un combustible e indica la capacidad de que el fuego se extienda y se propague. Es solo aplicable a combustibles sólidos.

La **Reactividad** de un combustible, expresa la capacidad de poder generar explosiones, es decir que su velocidad de reacción sea muy elevada.

La **Toxicidad** de un combustible indica el grado de peligrosidad de los productos de la combustión.

Comburente

Es comburente el gas o mezcla de gases que permite el inicio y desarrollo de la combustión. El más común es el oxígeno, presente en la composición del aire (21 %).

Existen otros comburentes menos usuales, como el nitrato potásico (NaNO_3) o el cloruro potásico (KClO_3). Estos compuestos pueden liberar oxígeno en condiciones favorables. Otras sustancias como el plástico a base de piroxilina, contiene oxígeno combinado en sus moléculas, de modo que pueden tener una combustión parcial sin aporte externo de oxígeno.

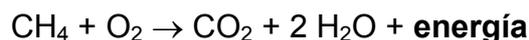
También puede haber combustión en casos especiales, en atmósferas de cloro, dióxido de carbono, nitrógeno y en algunos otros gases sin presencia de oxígeno. Pero estas situaciones son poco frecuentes.

Reacción en Cadena

La **energía de activación** es la energía mínima necesaria para el inicio de la reacción, esta energía inicial es aportada por los focos de ignición.

Una vez iniciada la combustión para que esta continúe, se debe aportar a la mezcla, energía para que se formen los denominados **radicales libres**, que son los responsables de los procesos químicos que se generan en la combustión. Ésta, es aportada por parte de la energía desprendida. A este proceso se le conoce como **Reacción en cadena**.

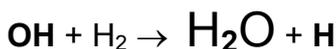
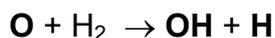
Veamos por ejemplo la siguiente reacción de combustión:



En dicha reacción el carbono existente en el metano (CH_4), debe combinarse con el oxígeno, para generar CO_2 . En cambio las cuatro moléculas de hidrogeno existentes combinadas con el oxígeno darán dos moléculas de agua.

Los productos intermedios para estos procesos son lo que se conoce como radicales libres.

Por ejemplo:

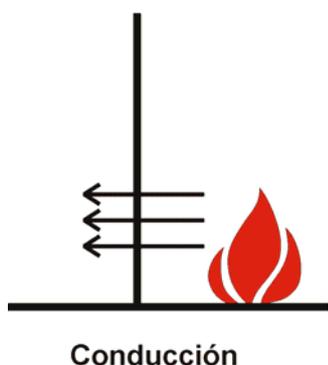


H, O y OH son los radicales libres.

Por lo tanto si con ayuda de un agente extintor eliminamos estos radicales libres, la reacción de combustión se apagará. Este es el mecanismo de extinción conocido como **inhibición**.

Calor

Es el producto energético de la combustión que se disipa en el ambiente por medio de tres mecanismos de transmisión del calor:



Conducción: Requiere contacto físico de dos cuerpos con distinta temperatura.

Convección: El calor es transportado por un fluido, originado por corrientes en su seno debidas a diferencias de densidad.



Radiación: Se realiza desde los cuerpos calientes mediante radiaciones electromagnéticas, si estas están dentro del espectro visible se manifiestan por lo que conocemos como llamas. Si están dentro del infrarrojo, sentimos el calor a distancia sin necesidad de contacto físico con la fuente de calor.

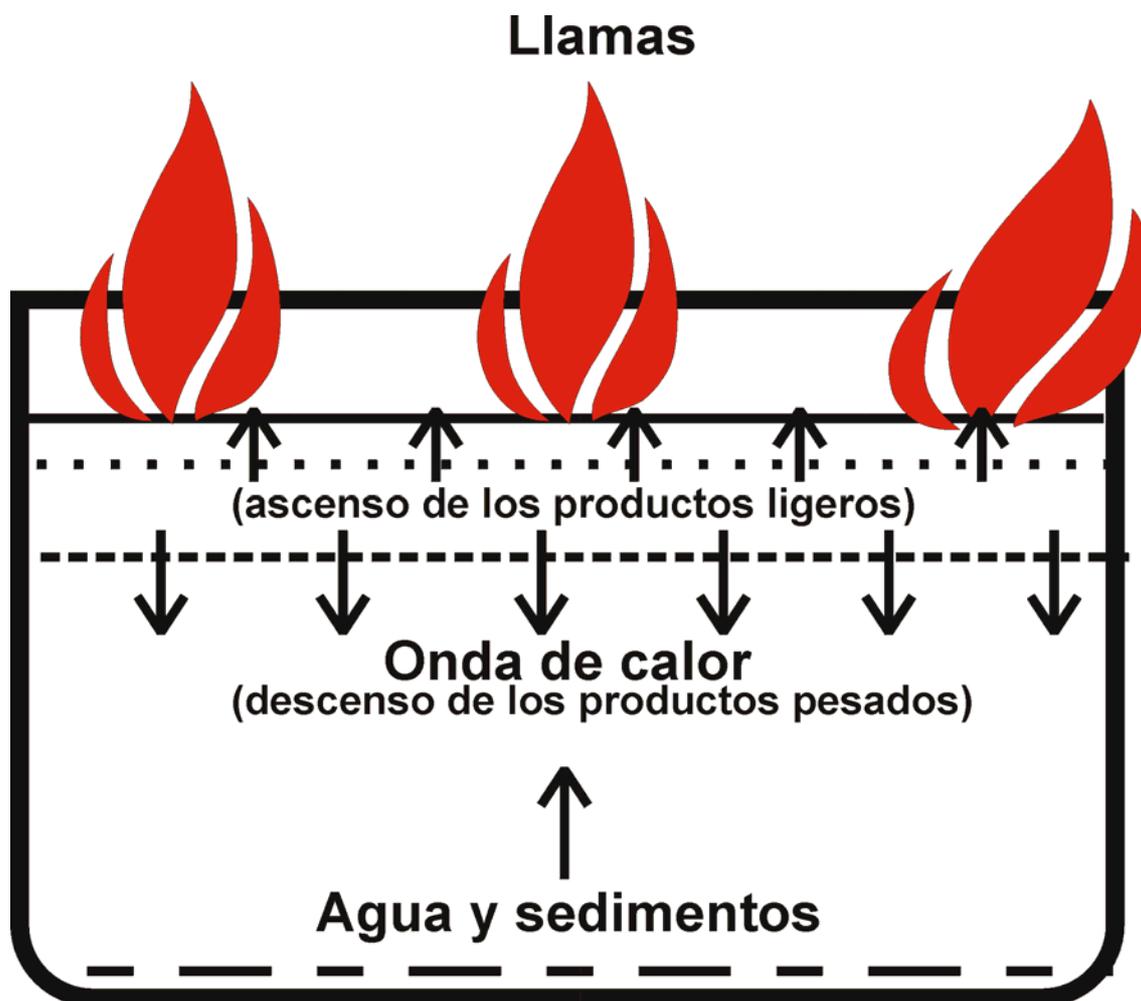
Al incidir la radiación térmica sobre otro cuerpo, parte puede ser reflejada por su superficie, parte es transmitida por el mismo y una parte es absorbida por este, aumentando su energía interna.

Boilover

El fenómeno de **Boilover**, se produce cuando arde en un tanque abierto, un líquido que contiene una gran cantidad de derivados del petróleo, con diferentes puntos de ebullición (crudo, por ejemplo).

Cuando el petróleo crudo arde en su tanque de almacenamiento, parte del calor producido se propaga hacia la masa no calentada por convección. Las diferentes densidades de los productos existentes en la mezcla, hacen que las fracciones más ligeras ardan en la superficie, mientras que las fracciones más pesadas, que poseen puntos de ebullición más elevados, no arden pero se calientan y se hunden. Esto hace que se produzca la transferencia de calor, haciendo que las fracciones ligeras asciendan y las pesadas vuelvan a descender de nuevo. Este proceso se denomina "**onda de calor**"

Como este crudo tiene un punto de ebullición muy superior a la del agua, cuando hay agua acumulada en el fondo, procedente de la extinción (el agua pesa más que el crudo), y el incendio lleva suficiente tiempo activo, la onda de calor (que desciende a razón de unos veinte cm por hora, dependiendo del tipo de petróleo), alcanza el fondo en donde se acumulan agua haciendo que se evapore. El vapor generado actuará de pistón bajo presión, despidiendo los contenidos calientes del tanque (al menos a unos 200 °C). Esta expulsión casi explosiva presenta la característica de un volcán despidiendo lava incandescente



Explosiones

Definición y clasificación

Una **Explosión**, es la liberación súbita de gas a alta presión en el ambiente. Esta energía liberada se disipa mediante una onda de choque o onda de presión.

Las explosiones las podemos clasificar en:

EXPLOSIONES	FÍSICAS	SOBREPRESIONES	
		BLEVE	
	QUÍMICAS	REACCION UNIFORME	EXPLOSIÓN TÉRMICA
		REACCIÓN DE PROPAGACIÓN	DEFLAGRACIÓN
	DETONACIÓN		

Esta clasificación se refiere a la naturaleza u origen de la aparición súbita del gas que libera la explosión, Puede ser un proceso químico (detonación de un explosivo) o un fenómeno físico (rotura de un recipiente o evaporación rápida de un líquido)

Explosiones Químicas

Tienen su origen en una reacción química, generalmente una combustión, aunque no es condición necesaria.

Dada una masa reactiva, hay dos formas de que se produzca esta reacción: en toda la masa a la vez (**Reacción uniforme**) o iniciándose en un punto y avanzando sobre el resto, a través de un frente con una determinada velocidad (**Reacción de propagación**).

Explosión térmica

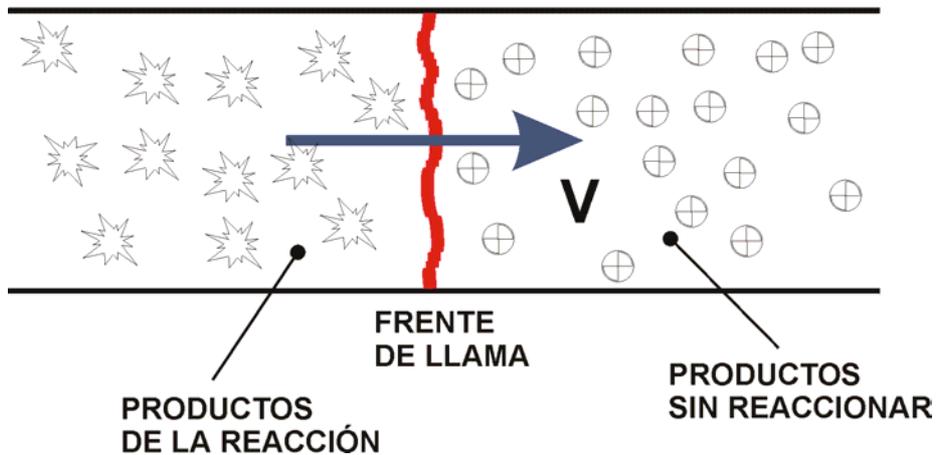
Si en una masa reactiva confinada se produce una reacción uniforme y el calor generado eleva la temperatura de la masa, aumentando la velocidad de reacción, se produce un fenómeno incontrolado denominado **Explosión Térmica**.



Deflagración y Detonación

Son **reacciones de propagación** en los que el frente de llama avanza a velocidad subsónica (**deflagración**) y supersónica (**detonación**).

REACCIÓN DE PROPAGACIÓN



$V <$ velocidad del sonido (atmósferas de gas)

$V >$ velocidad del sonido (conductos de gas)

Explosiones físicas

Tiene su origen en un fenómeno físico, sin que se produzcan cambios químicos.

Podemos considerar tres fenómenos que producen explosiones:

Explosión por liberación de un gas comprimido

Un gas contenido en un recipiente a presión (v.g. aire comprimido) superior a la atmosférica, es liberado como consecuencia de la rotura del recipiente por una sobrepresión que supere el límite mecánico del mismo. Esta rotura puede ser causada por una compresión del gas, un sobrecalentamiento del recipiente o por un aumento de masa del gas introducido en el mismo.

Explosión por evaporación de un líquido al entrar en contacto con una superficie caliente

Es cuando un líquido entra en contacto con una superficie a una temperatura muy superior a su punto de ebullición, generando la evaporación súbita del líquido y consecuentemente la expansión del vapor, esto produce sobrepresiones que rompen el recipiente.

BLEVE

Explosión por Expansión de los Vapores de un Líquido en Ebullición (**B**oiling **L**iquid **E**xpansion **V**apor **E**xplosion).

Para que en un recipiente se produzca una **BLEVE**, se tienen que dar las siguientes condiciones:

- a) La sustancia contenida en el recipiente debe ser un **Líquido Sobrecalentado**
- b) Se debe producir una **despresurización súbita del recipiente**.
- c) Se debe originar el proceso de **Ebullición en Masa**.

Líquido Sobrecalentado³

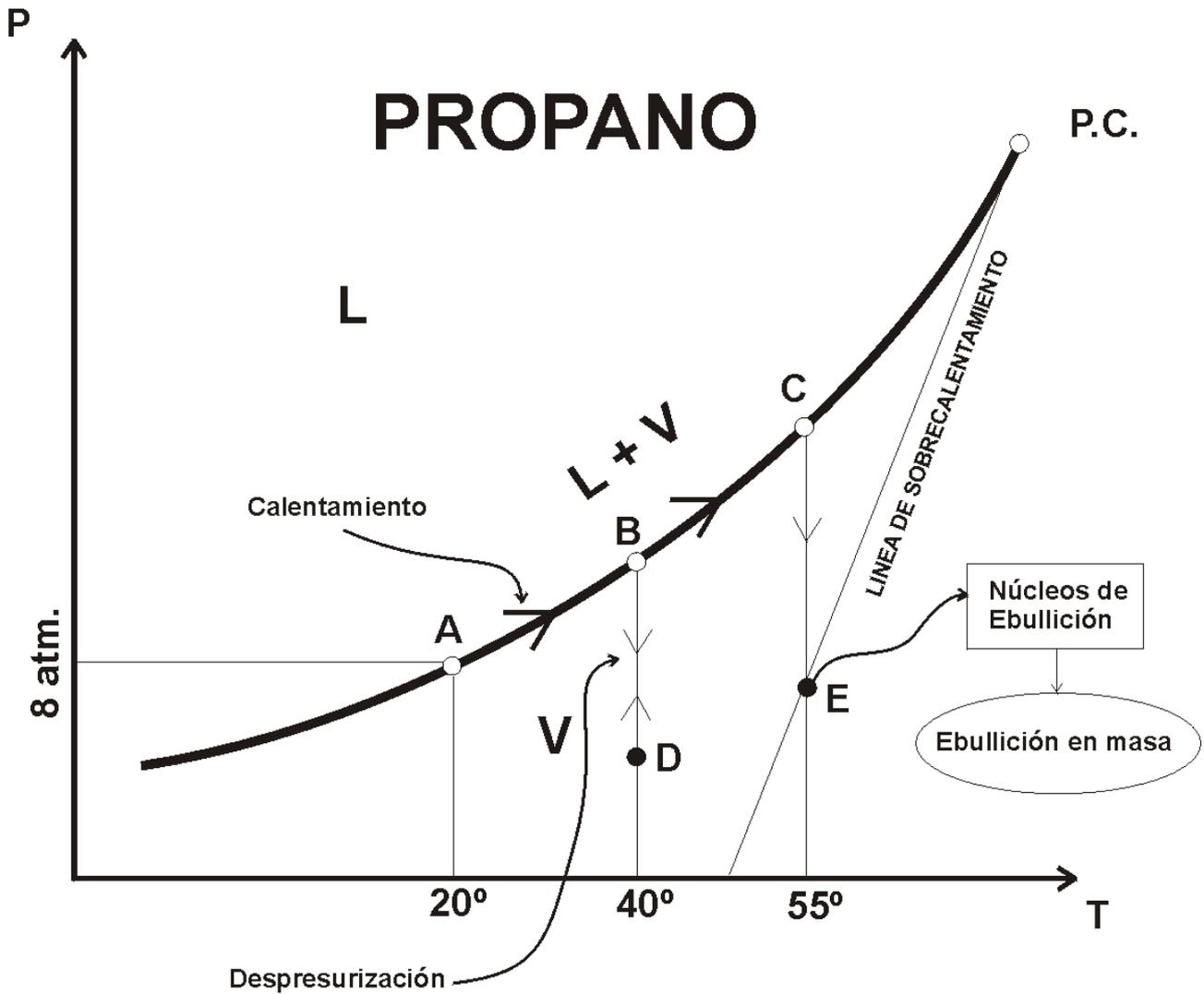
Hay que destacar que para que se produzca una **BLEVE** no es necesario que la sustancia sea inflamable.

Despresurización súbita del recipiente

Por una fisura o grieta se produce una pérdida de presión dentro del recipiente lo que trae consigo una rotura de la situación del equilibrio líquido-vapor, que hará que la sustancia entre en la zona de vapor, aumentando el volumen del vapor. Pero si la despresurización se produce por encima de la **Línea de sobrecalentamiento** es cuando se produce la

³ Ver apartado de equilibrio Líquido-Vapor

aparición de los núcleos de ebullición que nos llevarán a la aparición de la **Ebullición en Masa** de todo el liquido, que pasará súbitamente a vapor.



Evolución de un Incendio de Interior.

a) Periodo incipiente o latente.

Cuando se produce una ignición de un elemento combustible interior a una habitación, la reacción de combustión, se produce sin llamas, este proceso puede durar desde unos segundos hasta varias horas, dependiendo del tipo de ignición y de la naturaleza del combustible.

b) Producción de llamas.

Pasada la anterior etapa se producirá un aumento rápido de la combustión y generación de calor. En este momento aparecerán las llamas y se generará abundante humo.

El calor generado se encontrará confinado por las paredes y el techo de la habitación. Como los humos y gases de la combustión están calientes se acumularán en la parte superior de la habitación.

En este momento el oxígeno nos definirá el rumbo en la evolución del incendio.

Si hay oxígeno suficiente en la habitación o existen aberturas lo suficientemente amplias para aportar comburente al proceso de combustión, el incendio entra en una fase que podemos denominar dependiente del combustible. Es el momento en que el incendio se encamina al denominado **FLASH OVER** o combustión generalizada de los gases y combustibles en el interior del recinto.

Este fenómeno es producido porque no se disipa el calor generado, y por tanto los gases y humos acumulados en el techo, se encuentran a alta temperatura, y por radiación hacen que los combustibles presentes en la habitación alcancen la temperatura de autoignición y se prendan simultáneamente todos los elementos presentes en el interior.

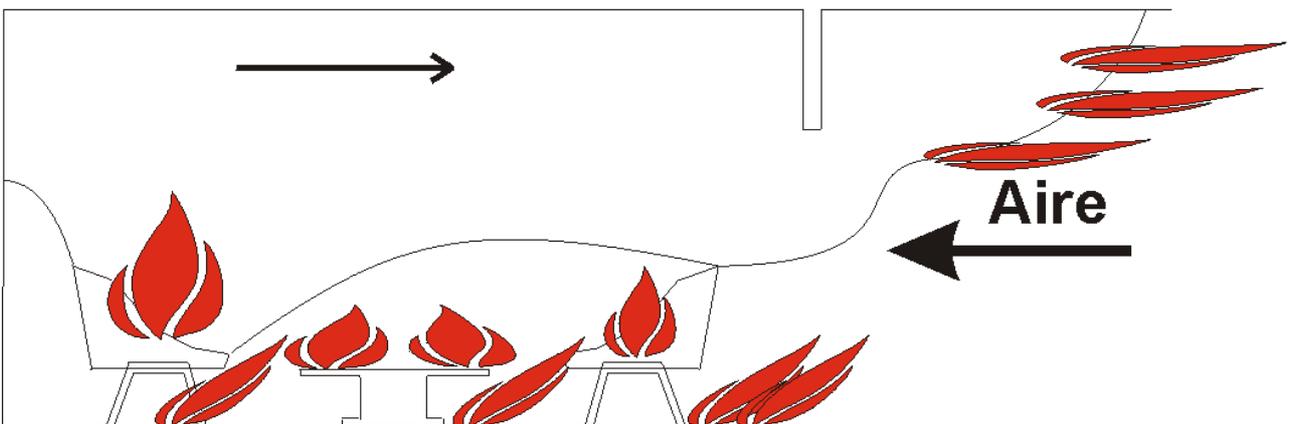
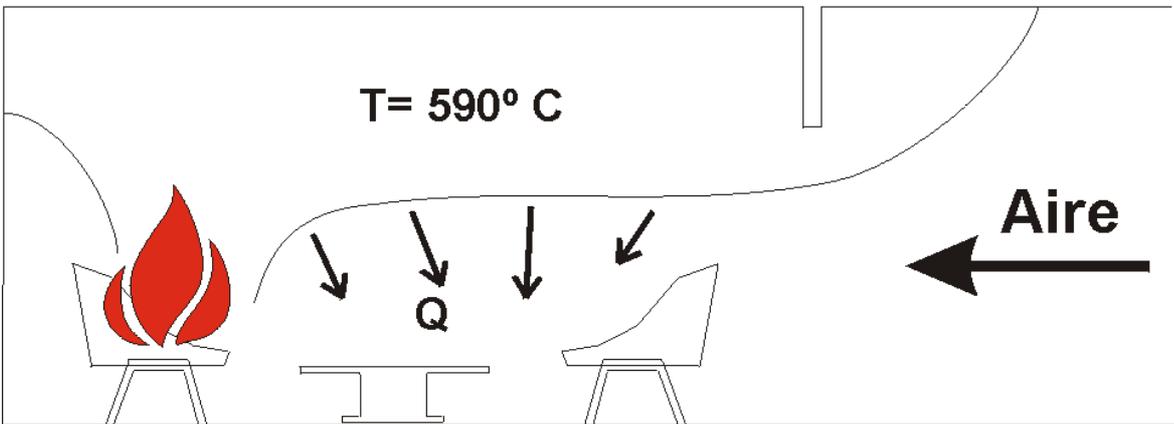
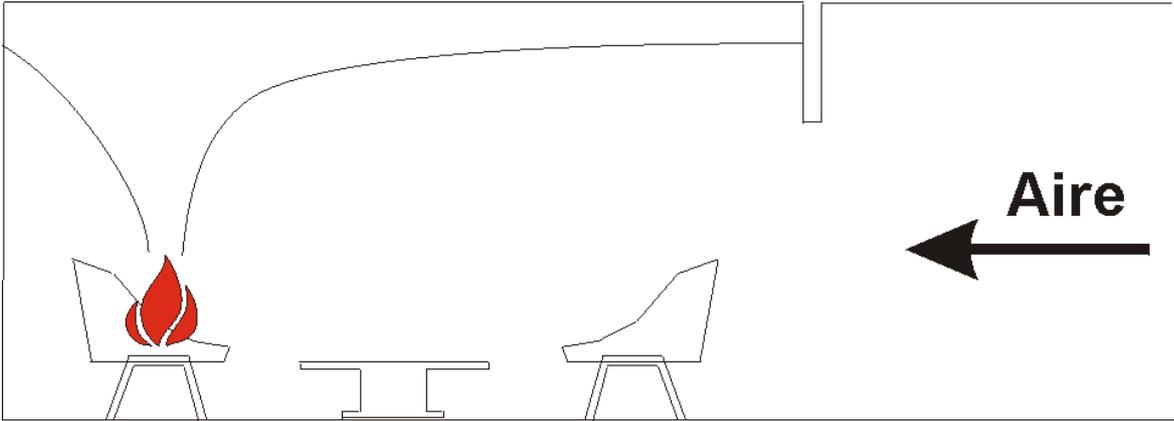
Si la cantidad de oxígeno en la habitación o el que pueda entrar en la misma no es suficiente para mantener la combustión, esta pasará a depender de la ventilación. Cuando el porcentaje de oxígeno baja a niveles inferiores al 15 %, aumenta la producción de gases y humos de la combustión, ya que quema en una proporción pobre de comburente. Se forma monóxido de carbono y hollín, las llamas cesan y se entra en la fase siguiente.

c) Rescoldo

La habitación se encuentra llena de un humo denso, como consecuencia de la combustión pobre de oxígeno, disminuye la producción de calor, y aparece el fenómeno del **contratiro**⁴, es decir que la habitación se encuentra a una presión inferior a la del exterior, se ve como el humo es aspirado hacia el interior del recinto. En este momento determinado es cuándo se puede producir el **BACK DRAFT**, (explosión de humo), que es la explosión de los gases combustibles como consecuencia de la entrada súbita de aire de forma descontrolada, por ejemplo al abrir una puerta o la rotura de una ventana.

El incendio entrara de nuevo en la fase de producción de llamas.

⁴ También conocido como pulsación del incendio



FLASH OVER

Flash Over y Back Draft

Podemos definir el **Flash Over** como:

"Aumento repentino de la velocidad de propagación de un incendio confinado debido a la súbita combustión de los gases acumulados bajo el techo y a la inflamación generalizada de los materiales combustibles del recinto, como consecuencia de la radiación emitida por esta capa de gases calientes."

El **Back Draft** lo podemos definir como:

"Una explosión, de violencia variable, causada por la entrada de aire fresco en un compartimento que contiene o ha contenido fuego y donde se ha producido una acumulación de humos combustibles, como consecuencia de una combustión en condiciones de deficiencia de oxígeno".

Como se aprecia hay grandes diferencias entre los dos fenómenos, que podemos resumir en la siguiente tabla:

	Flash Over	Back Draft
Fase del incendio	Fase inicial	Fase decaimiento o final
Espacio	Recinto ventilado	Recinto no ventilado
Agente inductor	Temperatura	Ventilación
Calor generado por	Llamas	Brasas
Factores fundamentales	Temperatura de ignición	Energía mínima de ignición
Tipo de escenario	Estático	Dinámico
Tipo de llama	Llama libre de difusión	Llama de gases premezclados
Onda de sobre presión explosiva	No	Frecuentemente
Incendio posterior	Generalizado	No necesariamente