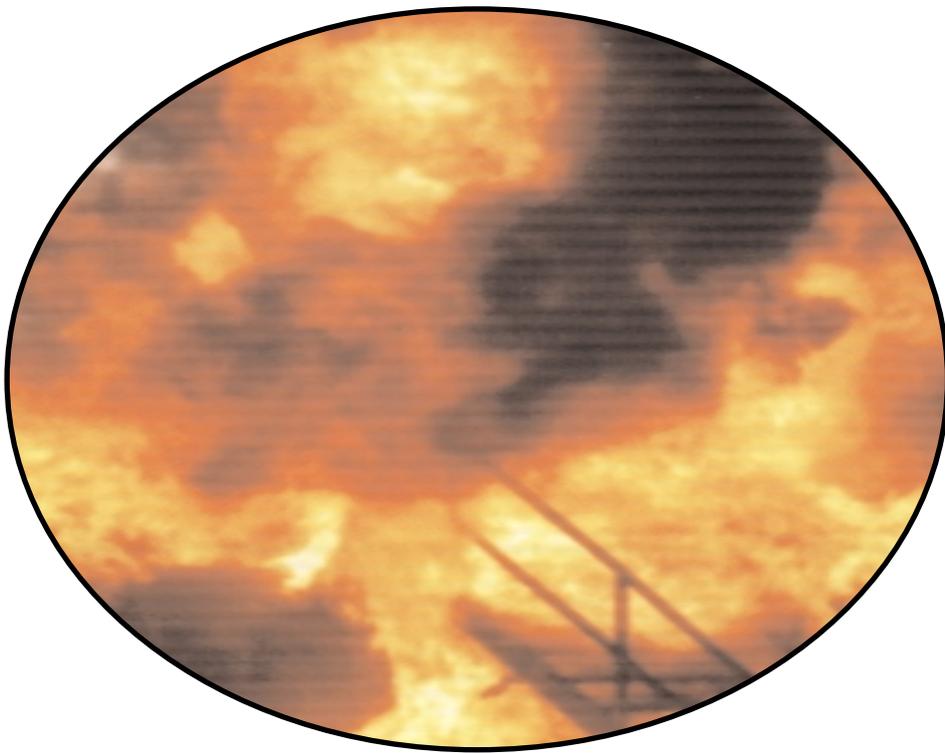




Bomberos de Navarra  
Nafarroako Suhiltzaileak



# El fuego o combustión

Felix Esparza



---

# 1. El fuego o combustión

## ***1.1. Definición:***

El fuego o combustión es una rápida reacción química de oxidación de carácter exotérmico (y de luz), autoalimentada, con presencia de un combustible en fase sólida, líquida o gaseosa.

*Según las Normas UNE:* El fuego es una combustión caracterizada por una emisión de calor acompañada de humo, llamas o ambos.

*Diccionario:* Fuego es luz y calor producidos por la combustión.

*Químicamente:* Proceso de reacción química rápida, fuertemente exotérmica de oxidación-reducción, en las que participa una sustancia combustible y un comburente, que se produce en condiciones energéticas favorables y en la que se desprende calor, radiación luminosa, humo y gases de combustión.

## ***1.2. Introducción:***

El fuego es uno de los elementos más utilizados por el hombre para su trabajo, alimentación y bienestar. Sin embargo este fenómeno es útil y positivo cuando está controlado.

## ***1.3. Velocidad de la reacción:***

Según la velocidad de la reacción podremos establecer la siguiente clasificación:

-Si la reacción es lenta, es ***OXIDACIÓN***; no hay aumento de la temperatura (oxidación del hierro, amarilleo del papel). Se produce sin emisión de luz y poca emisión de calor que se disipa en el ambiente.

-Si la reacción es normal, es ***COMBUSTIÓN***; se produce con emisión de luz (llama) y calor, que es perceptible por el ser humano. El frente de llama tiene unos valores de varios centímetros por segundo.

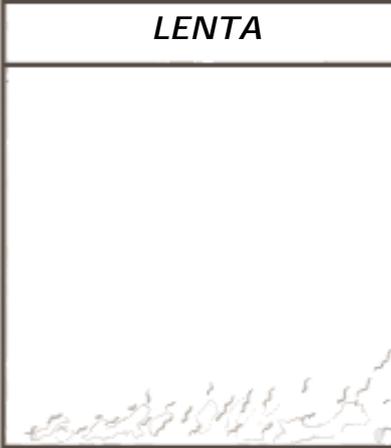
-Si la reacción es rápida, es ***DEFLAGRACIÓN***; combustión que se produce cuando la velocidad de propagación del frente de llama es menor que la del sonido; su valor se sitúa en el orden de metros por segundo. Ondas de presión 1 a 10 veces la presión inicial.



-Si la reacción es muy rápida, es **DETONACIÓN**; combustión que se produce cuando la velocidad de la propagación del frente de llama es mayor que la del sonido; se alcanzan velocidades de kilómetros por segundo. Ondas de presión de hasta 100 veces la presión inicial.

*El fuego se corresponde con la segunda denominación: Combustión.*

*A las dos últimas se les denomina explosiones.*

<i>LENTA</i>	<i>NORMAL</i>	<i>RAPIDA</i>	<i>MUY RAPIDA</i>
			
	<i>CM/SEG.</i>	<i>M/SEG.</i>	<i>KM/SEG.</i>

### ***1.4. El triángulo y tetraedro del fuego:***

El estudio de la dinámica del fuego y de su extinción supone la utilización de disciplinas tales como la mecánica de fluidos, las transferencias de calor y materia y la cinética química. Sin embargo, con frecuencia los textos (desde Lavoisier) emplean un triángulo o un tetraedro para representar los elementos básicos del fuego, siendo ésta una forma intuitiva del fuego y de sus métodos de extinción.

Una simplificación gráfica habitual para describir el proceso de la combustión es el denominado triángulo del fuego.

Con él se quiso significar que el fuego no podía producirse sin que se unieran tres elementos: *el combustible, el comburente y la energía de activación (calor)*.



Y que podemos definir de la forma siguiente:

1.4.1. **Combustible**: Es cualquier sustancia capaz de arder en determinadas condiciones. Cualquier materia que pueda arder o sufrir una rápida oxidación.

1.4.2. **Comburente**: Es el elemento en cuya presencia el combustible puede arder (normalmente oxígeno). Sustancia que oxida al combustible en las reacciones de combustión.

El oxígeno es el agente oxidante más común. Por ello, el aire, que contiene aproximadamente un 21 % en volumen de oxígeno, es el comburente más habitual en todos los fuegos e incendios.

Algunas sustancias químicas que desprenden oxígeno bajo ciertas condiciones Nitrato Sódico ( $\text{NaNO}_3$ ), Clorato Potásico ( $\text{KClO}_3$ ), son agentes oxidantes cuya presencia puede provocar la combustión en ausencia de comburente; otros productos, como la nitrocelulosa, arden sin ser necesaria la presencia de aire por contener oxígeno en su propia estructura molecular.

1.4.3. **Energía de Activación**: Es la energía (calor) que es preciso aportar para que el combustible y el comburente reaccionen. Es la energía necesaria para el inicio de la reacción.

Para que las materias en estado normal actúen como reductores necesitan que se les aporte una determinada cantidad de energía para liberar sus electrones y compartirlos con los más próximos del oxígeno. Esta energía se llama “energía de activación” y se proporciona desde el exterior por un foco de ignición(calor).

De la energía desprendida en la reacción parte se disipa en el ambiente provocando los efectos térmicos derivados del incendio y el resto calienta a unos productos reaccionantes aportando la energía de activación precisa para que el proceso continúe.

La humedad, la luz, forma de apilado, temperatura ambiente, etc..., son factores que junto con las características físicas de los combustibles, hacen variar la energía de activación necesaria.

#### 1.4.4. **Reacción en Cadena**:

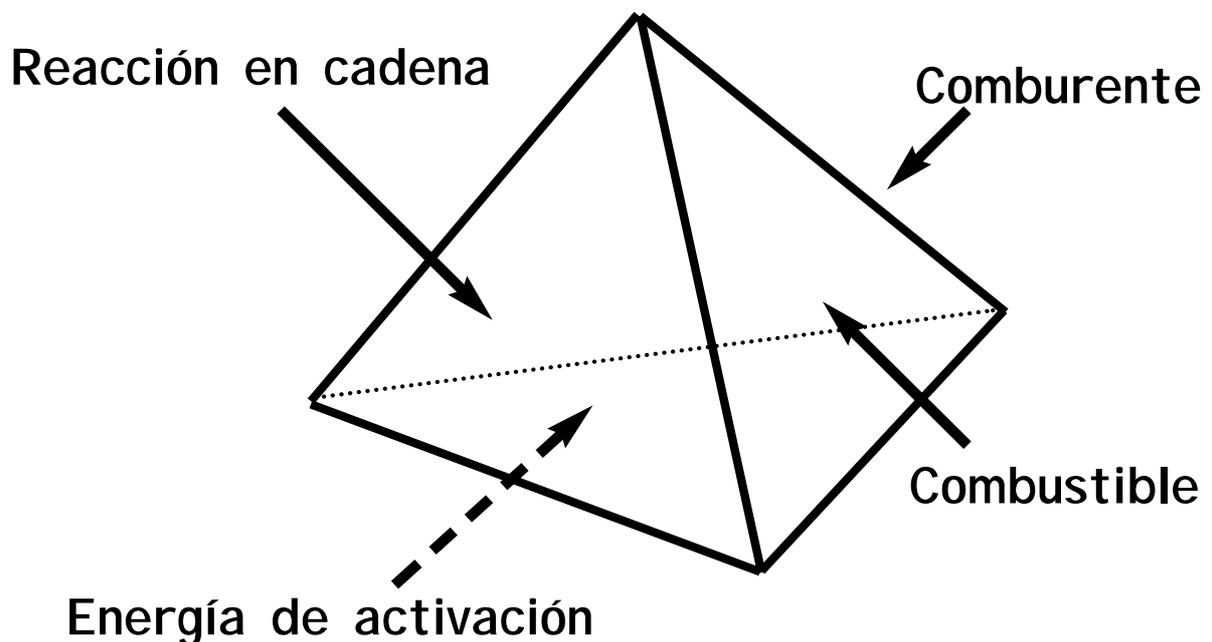
Esta sencilla representación en triángulo se aceptó durante mucho tiempo, sin embargo, se comenzaron a observar algunos fenómenos que no podían explicarse totalmente hasta que se descubrió un “nuevo factor”, la reacción en cadena.

Reacción en cadena es el proceso mediante el cual progresa la reacción en el seno de una mezcla comburente-combustible.



Una vez incluido este cuarto elemento, la representación del fuego se realizó mediante el denominado tetraedro del fuego.

## *Tetraedro del fuego*



*En este tetraedro del fuego, cada cara representa uno de los elementos básicos para que se produzca la combustión. Por tanto, bastará con eliminar una cara del tetraedro para romper el equilibrio y extinguir el fuego.*

# 2. El Incendio

## 2.1. Definición

Es un fuego no controlado en el espacio ni en el tiempo. Como ejemplo podemos citar un fuego forestal. A diferencia el fuego podemos calificarlo como controlado en el espacio (combustible limitado) y en el tiempo (se apaga cuando se quiere); y como ejemplo una cerilla ardiendo.

*Diccionario:* Fuego grande que destruye lo que no debía quemarse

## 2.2. Factores que influyen en la ignición

Todos los combustibles que arden con llama, entran en combustión en fase gaseosa. Cuando el combustible es sólido o líquido, es necesario un aporte previo de energía para llevarlo al estado gaseoso.

La peligrosidad de un combustible respecto a su ignición va a depender de una serie de variables.

### 2.2.1. Según su temperatura

Todas las materias combustibles presentan 3 niveles de temperatura característicos que se definen a continuación:

#### 2.2.1.1. Punto de Ignición

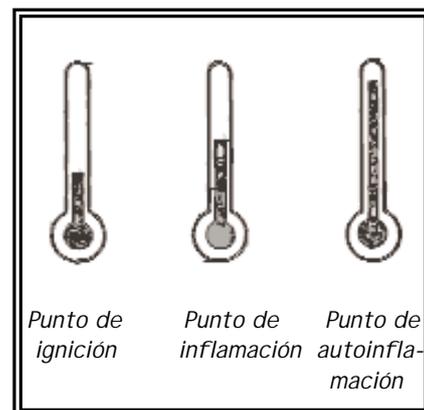
Es aquella temperatura mínima a la cual el combustible emite suficientes vapores que, en presencia de aire u otro comburente, se inflaman en contacto con una fuente de ignición, pero si se retira se apaga.

#### 2.2.1.2. Punto de inflamación

Es aquella temperatura mínima a la cual el combustible emite suficientes vapores que en presencia de aire u otro comburente y en contacto con una fuente de ignición se inflama y siguen ardiendo, aunque se retire la fuente de ignición.

#### 2.2.1.3. Punto de autoinflamación

Es aquella temperatura mínima a la cual un combustible emite vapores, que en presencia de aire u otro comburente, comienzan a arder sin necesidad de aporte de una fuente de ignición.



<i>Compuestos</i>	<i>Punto de inflamación</i>
<i>Líquidos</i>	
Alcohol etílico	18,2° C
Tolueno	4,4° C
Acetona	-18,0° C
Benceno	-11,0° C
Aguarras comercial	33,0° C
Sulfuro de carbono	-33,0° C
Gasolina	-43,0° C
Keroseno	37,0° C
Gasóleo	65,0° C
Gasolina	-39,0° C
<i>Sólidos</i>	
Madera de pino	225° C
Papel prensado	230° C
Polietileno	340° C
Poliamida	420° C

<i>Compuestos</i>	<i>Punto de autoinflamación</i>
<i>Gases</i>	
Acetileno	305° C
Amoníaco	630° C
Etileno	425° C
Propano	450° C
Metano	530° C
Hidrógeno	595° C
<i>Líquidos</i>	
Acetona	335° C
Alcohol etílico	423° C
Benceno	560° C
Tolueno	480° C
Aguarras comercial	232° C
Sulfuro de carbono	102° C
Gasolina	285° C
<i>Sólidos</i>	
Madera de pino	280° C

***Inflamabilidad es la facilidad de un material combustible para arder con producción de llama.***

### ***2.2.2. Según su concentración de combustible***

Para que sea posible la ignición, debe existir una concentración de combustible suficiente en una atmósfera oxidante dada. Pero no todas las mezclas combustible-comburente son susceptibles de entrar en combustión, sino que solamente reaccionarán algunas mezclas determinadas.

Se definen los límites de inflamabilidad como los límites extremos de concentración de un combustible dentro de un medio oxidante en cuyo seno puede producirse una combustión, es decir:

#### ***2.2.2.1. Límite superior de inflamabilidad: L.S.I.***

Es la máxima concentración de vapores de combustible en mezcla con un comburente, por encima de la cual no se produce combustión.

### 2.2.2.2. Límite inferior de inflamabilidad: **L.I.I.**

Es la mínima concentración de vapores de combustible, en mezcla con un comburente, por debajo de la cual no se produce la combustión

### 2.2.2.3. Campo de inflamabilidad

A las concentraciones intermedias entre ambos límites se denomina *rango o campo de inflamabilidad*, y son mezclas capaces de entrar en combustión.

Para explicar el significado de dichos límites, se puede citar como ejemplo un producto de combustión presente en todos los fuegos, como es el monóxido de carbono (CO). Sus límites varían del 12,5 % al 74 % de contenido de una mezcla con aire. Esto significa que si la atmósfera del local contiene 12,5 % o más de CO pero no menos que el 74 %, puede arder o explotar. Si el porcentaje es inferior al 12,5 % se considera que la mezcla se encuentra por debajo del límite inferior de inflamabilidad L.I.I., es decir, es demasiado pobre en combustible para arder. Cuando el contenido de CO es superior al 74 %, la mezcla se encuentra por encima del límite superior de inflamabilidad L.S.I., es decir, es demasiado rica en combustible para arder.

	<b>Substancia</b>	<b>L.I.I. % vol. aire</b>	<b>L.S.I. % vol. aire</b>
<b>Gases</b>	Propano	2,2	9,5
	Cloruro de Vinilo	3,6	33
	Metano	5,0	15,0
	Propileno	2,4	11
	Acetileno	2,5	81
	Monóxido de carbono	12,5	74
	Butano	1,9	8,5
	Etano	3	12,4
	Hidrógeno	4	75
	Gas Natural	4,5	15
<b>Líquidos</b>	Tolueno	1,2	7,1
	Alcohol etílico	4,3	19,0
	Acetona	2,5	12,3
	Benceno	1,4	7,1
	Aguarrás	1,1	6,0
	Amoníaco	16	25
	Gasolina	1,5	7,6
	Pentano	1,5	7,8
	Bisulfuro de carbono	1,3	50
	Decano	0,8	5,4

Estos límites se miden con aparatos denominados explosímetros. El rango máximo de un explosímetro corresponde al límite inferior de inflamabilidad, es decir, nos avisará de peligro cuando la concentración de vapores llegue al L.I.I.



## ***2.3. Factores que influyen en la combustión***

Los factores más importantes que contribuyen a la peligrosidad de un combustible una vez inflamado son:

### ***2.3.1. Poder calorífico***

Es la cantidad de calor emitida por un combustible por unidad de masa. Generalmente se mide en megacalorías por kilogramo de combustible (Mcal/kg).

Ejemplos: La madera posee un poder calorífico de 4 Mcal/kg y el propano de 11 Mcal/kg.

A mayor poder calorífico del combustible mayor será la temperatura de los materiales provocando la propagación del fuego.

<b><i>Materiales</i></b>	<b><i>Poderes caloríficos Mcal./kg.</i></b>
Alcohol etílico	6,45
Propano	10,98
Tolueno	8,59
Serrín de pino	5,37
Virutas de madera	4,57
Papel prensa	4,37
Asfalto	9,87

### ***2.3.2. Reactividad***

Se consideran reactivos aquellos productos que pueden surgir por choque, frotamiento o reacción con productos incompatibles, reacciones de gran potencial energético, que en algunos casos derivan en explosiones.

Ejemplos:

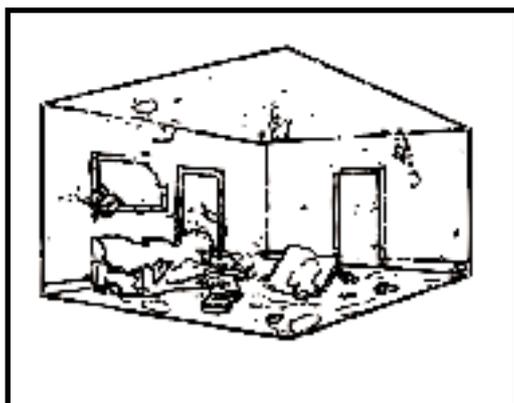
- Combustibles como carburos, peróxidos, sodio metálico y polvos de magnesio que en contacto con el agua reaccionan produciendo gases inflamables y liberando calor, produciendo llama.
- El Fluor que reacciona prácticamente con todas las sustancias orgánicas e inorgánicas a temperatura y presiones normales, formando llama.
- El Acetileno que generalmente se encuentra en recipientes y mezclado con acetona para su transporte y almacenamiento pueden reaccionar químicamente sobre si mismos cuando se les somete a calor y/o impactos (caída de la botella).

### 2.3.3. *Velocidad de la combustión*

Es una medida de la cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo en unas condiciones dadas. La velocidad de la combustión depende en alto grado de la forma del combustible, cantidad de aire existente, contenido de humedad y otros factores relacionados con éstos; sin embargo, para que la combustión continúe, es siempre necesario que se produzca una evaporación progresiva de los sólidos y líquidos por su exposición al calor.

Cuando se produce una inflamación subita generalizada en la superficie del conjunto de los materiales combustibles en un recinto, nos encontramos con el fenómeno conocido como "**Flashover**".

Puede ocurrir en efecto, que en un incendio de propagación lenta o una fuente de calor radiante desarrolle gradualmente en las paredes y en el techo suficiente energía para iniciar el proceso de descomposición con la consiguiente liberación de gases combustibles. Este estado recibe el nombre de "*preflashover*". Cuando la mezcla de esos gases con el aire ambiental alcanzan el nivel de inflamación cualquier fuente de ignición puede hacer que toda la masa se inflame casi instantáneamente (Flashover).



*Una habitación con presencia de fuego latente por falta de oxígeno, puede dar lugar a un flashover, con una pequeña chispa (interruptor).*

### 2.3.4. *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 extensión y propagación de un fuego.

En comparación con los combustibles líquidos, la propagación del fuego sobre la mayor parte de los sólidos es bastante lenta. La principal razón de esta diferencia se deriva de la presencia de vapores fácilmente inflamables en los primeros. Además, los gases producidos por pirólisis, durante la combustión de los sólidos deben mezclarse con la debida proporción de aire para que puedan inflamarse. Por tanto, la propagación de las llamas depende a menudo de la necesidad que tienen estos gases de encontrar un abastecimiento adecuado de aire para consumirse progresivamente.



# 3. Explosiones

## 3.1. Definición

Es una súbita liberación de gas a alta presión en el ambiente. Su energía se disipa en forma de onda de choque cuando la velocidad de liberación es sónica o supersónica.

## 3.2. Efectos

Los efectos de la explosión en el ambiente dependen de:

- a) la velocidad de descarga.
- b) La presión en el momento de la liberación.
- c) El volumen de gas liberado.
- d) Factores direccionales que regulan la descarga.
- e) Efectos mecánicos coincidentes con la descarga.
- f) La temperatura del gas.

La intensidad inicial de la onda de presión (amplitud) depende de la presión del gas en el momento de la liberación. La presión se equilibra a la velocidad del sonido.

$$\text{La Energía Total} = f(V, P, T^a) = P \times V$$

La mayoría de las explosiones involucran algún medio de confinamiento. Al romperse el contenedor la onda de presión no suele ser igual en todas las direcciones.

Campo próximo ----- rotura  
Campo lejano -----viento

## 3.3. Clasificación de las explosiones por su origen

3.3.1. **Explosiones Físicas**: No hay cambio de la naturaleza química de las sustancias. El gas a alta presión se genera por medios mecánicos o por el calor en un recinto confinado.

3.3.2. **Explosiones Químicas**: Se deben a reacciones exotérmicas. El gas a presión se genera por vaporización reactivos generación de nuevos elementos gaseosos o por expansión de gases presentes debido al calor liberado

3.3.3. **Reacciones Uniformes**: Las transformaciones químicas abarcan toda la masa reactiva Su vel. sólo depende la  $T^a$  y concentración de los agentes, y se mantiene constante en toda la masa reactiva. Se concentra más calor en el centro de la masa.

3.3.4. **Reacción de Propagación:** Existe un frente de reacción definido que separa el material sin reacción de los productos de la reacción, avanzando a través de la masa reactiva. Pueden diferenciarse 3 zonas:

- Zona de reacción. Llama.
- Zona de producto. Detrás de la llama.
- Zona sin reacción. Frente a la llama.

3.3.5. **Deflagración:** Velocidad de propagación subsónica. Con o sin confinamiento

3.3.6. **Detonación:** Velocidad de propagación supersónica

3.3.7. **Bleve:** Explosión de vapor en expansión de un líquido en ebullición confinado.

3.3.8. **Explosión Térmica:** Se debe a reacciones uniformes "autónomas" con fuerte liberación de calor y gases.

El potencial destructivo de una explosión se mide por comparación con detonaciones de TNT.

Los combustibles que pueden producir una explosión química por combustión son:

- Sólidos
  - Compactos
  - Polvos en suspensión
- Líquidos
  - Fase condensada
  - Niebla
- Gases y vapores

En toda potencial reacción explosiva se dan dos cuestiones:

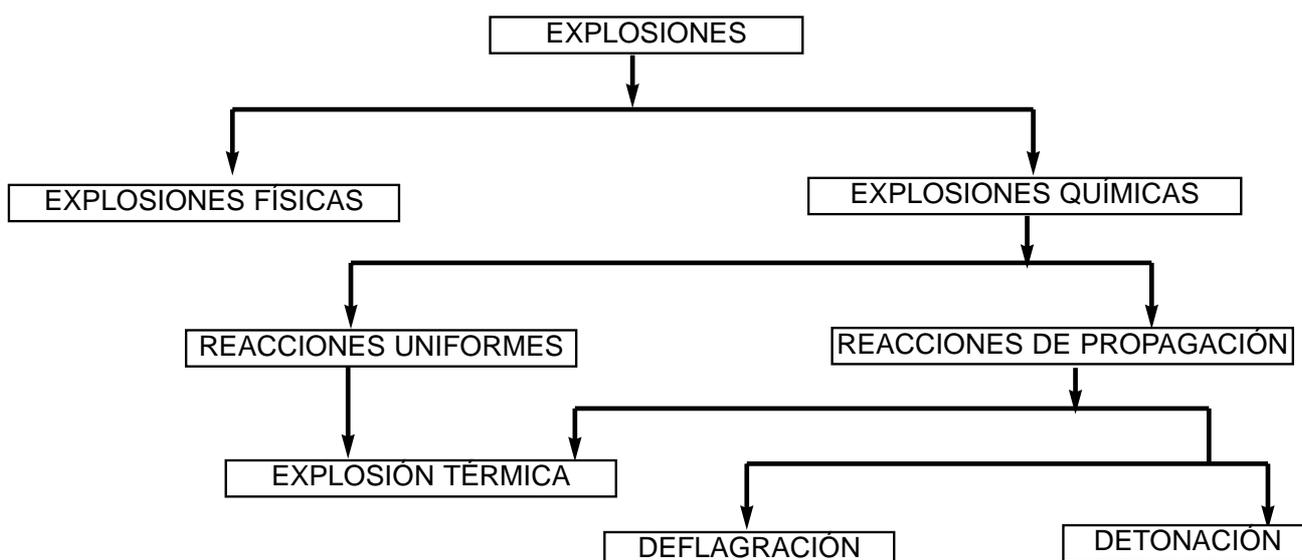
- Severidad. Tipo y potencia de la reacción
- Sensibilidad. Modos de iniciación y energías de activación.

El medio ambiente puede actuar en una explosión como aportador de riesgo (chispa, metralla...) o como receptor de riesgo (fallo de estructuras...)



- Contramedidas contra la explosión: Pueden agruparse en 5 tipos:

Contención  
Enfriamiento  
Amortiguación.  
Ventilación



### **3.4. BLEVE**

#### **3.4.1. Definición**

BLEVE son las iniciales inglesas de *Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion*, es decir, **explosión por expansión del vapor de un líquido en ebullición.**

Como su definición indica, se precisa de un líquido confinado en un recipiente, que sea capaz de emitir vapores al calentarse. Será el caso de todos los gases licuados, independientemente de que sean inflamables o no, los cuales en su almacenamiento dentro de un tanque cerrado, siempre están a una temperatura superior a la de su punto de ebullición, y a una presión superior a su presión de Vapor a temperatura ambiente. Si por cualquier razón, se produce una bajada de presión de la fase gaseosa, el líquido empezará a evaporar gas para así conseguir su equilibrio. De igual manera, si calentamos la fase líquida, haremos aumentar la presión de vapor del líquido.

---

Teniendo en cuenta estos parámetros, para que se produzca el BLEVE, son necesarias tres condiciones:

- 1.- Que la fase líquida esté sobrecalentada.
- 2.- Que se produzca una bajada brusca de presión en la fase gas.
- 3.- Que se den las condiciones de presión y temperatura que consigan la nucleación espontánea de toda la masa.

Intentaremos describir cada una de estas condiciones. En primer lugar decíamos que necesitamos un líquido sometido a presión y sobrecalentado. Todos sabemos que todos los líquidos tienen una temperatura en la cual empiezan a hervir y a emitir vapores, es la llamada Temperatura de Ebullición, pues bien, ésta temperatura de ebullición varía en función de la presión en la que se ve sometido, de manera que por ejemplo el agua, cuya temperatura de ebullición es de 100°C, si la sometemos a presión, no hervirá hasta alcanzar temperaturas superiores.

En el caso de los gases licuados, podemos decir que al aumentar la presión para almacenarlos, aumentamos su punto de ebullición, con lo cual si reducimos su presión a presión atmosférica, toda la fase líquida pasaría a fase de gas, herviría y se evaporaría a temperatura ambiente. Por tanto son líquidos que se les puede denominar "sobrecalentados".

Si a estos gases licuados, se les aplica calor, aumentarán la presión de la fase gaseosa, lo cual se traduce en un aumento de la presión del líquido, con lo cual el punto de ebullición de la fase líquida aumentará. Este "círculo vicioso" se mantendrá estable siempre que el recipiente sea capaz de mantener su estanqueidad o su resistencia mecánica.

Decíamos, que para que se produzca la BLEVE, era necesaria una bajada brusca de la presión del recipiente. Esta bajada brusca se puede dar de diferentes maneras, como puede ser el fallo de la resistencia mecánica de recipiente por un golpe o punción, por fallo de resistencia mecánica por calentamiento excesivo del metal del que está construido, o incluso por la apertura de una válvula sobredimensionada que libere incontroladamente una cantidad excesiva de presión.

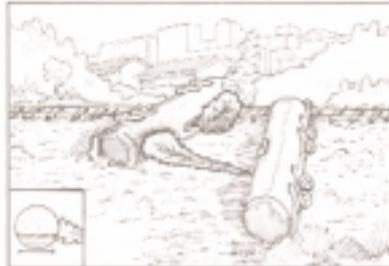
Por último, decíamos que era necesario que se den unas condiciones de presión y temperatura la que se pueda producir una evaporación instantánea de toda la fase líquida, si hacemos pasar al líquido a presión atmosférica.



# BLEVE



Fuga incendiada y calentamiento de la fase líquida



Sobrepresión y apertura de la válvula de seguridad



Calentamiento de la fase gaseosa



Deterioro del recipiente



Rotura del recipiente e inicio de



BLEVE



Bola de fuego



Incendios provocados por la bola