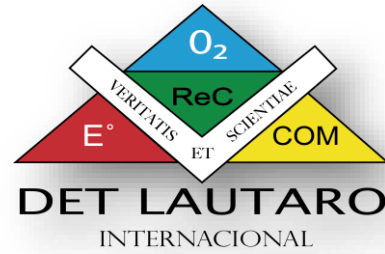




# CIENCIA DEL FUEGO



*Mgs. Heriberto Luis Moreira Cornejo*

[www.pirolisis.com/cv](http://www.pirolisis.com/cv)



# INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD EN TRANSMISIÓN ONLINE



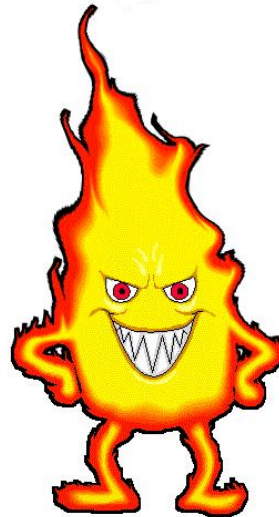
*“Ninguna investigación humana puede ser llamada ciencia real si no puede demostrarse matemáticamente”.*

*Leonardo da Vinci*

# EL FUEGO

# FUEGO

**3.3.68 Fuego.** Proceso de oxidación rápida con producción de luz y calor de distinta intensidad.



# PROBLEMA CON LA NOMENCLATURA



**FIRE v/s**

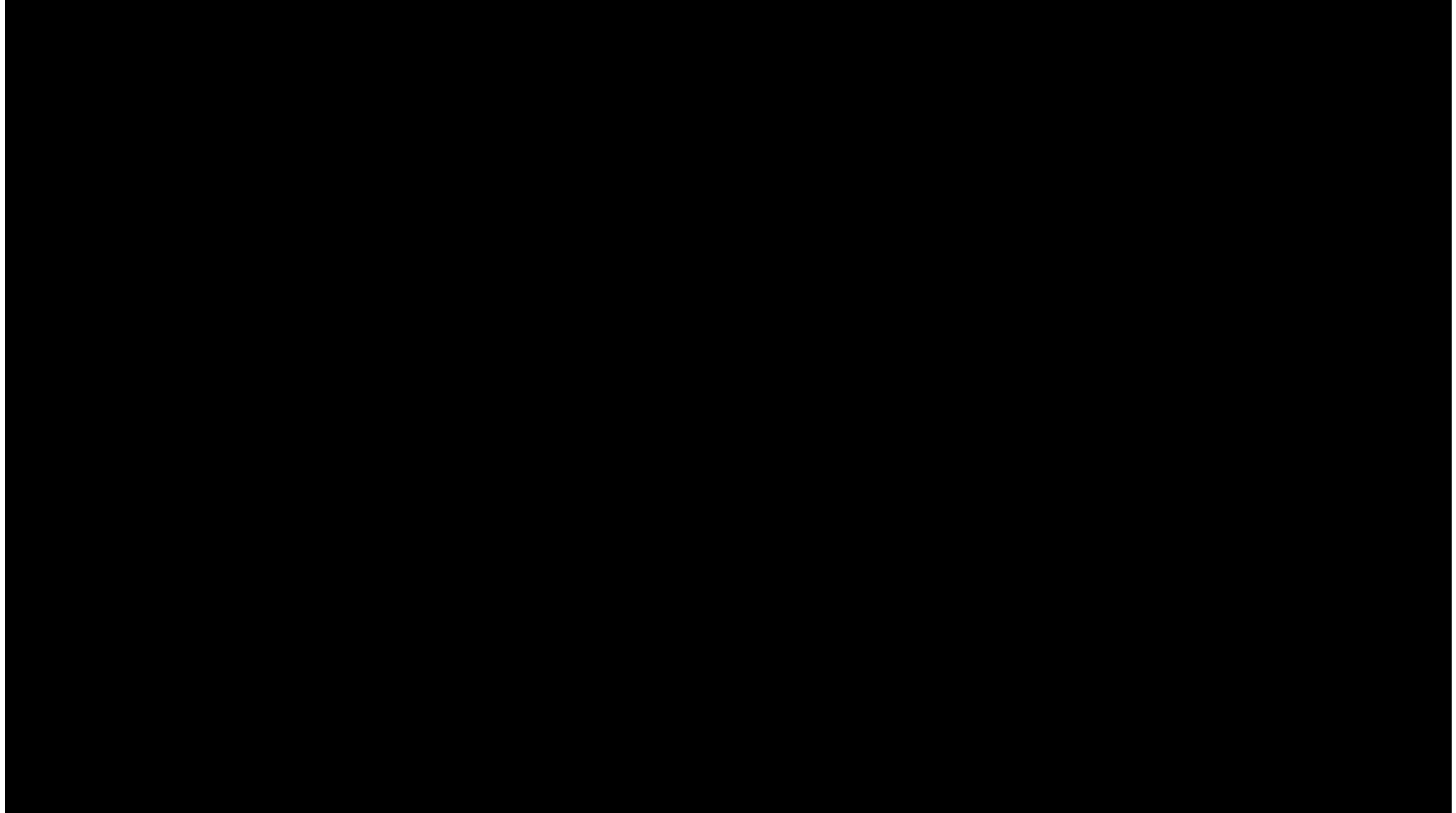
**INCENDIO**



**FUEGO**



# LLAMA ELECTROMAGNÉTICA

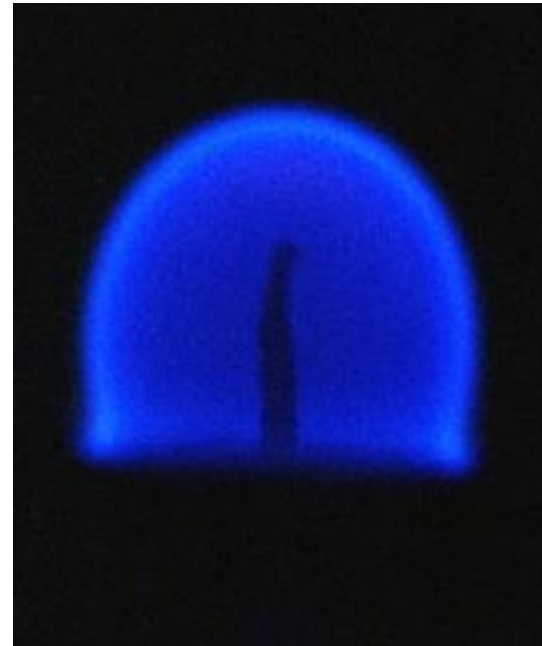


# LLAMAS



*LLAMA EN LA TIERRA*

*LLAMA EN ESTACIÓN ESPACIAL*

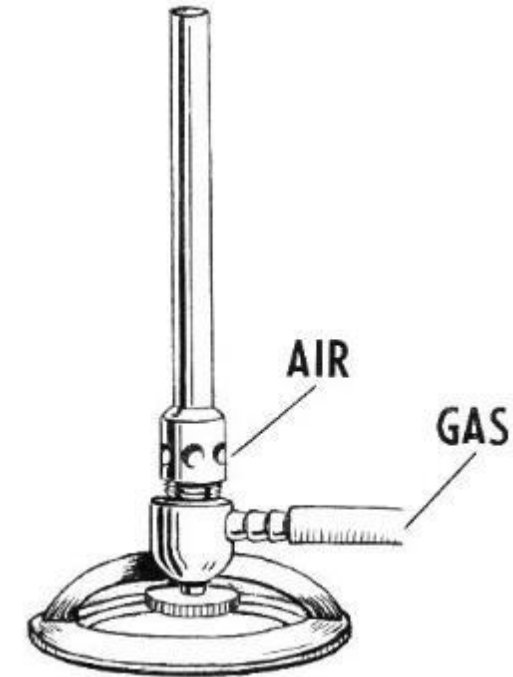




*¿Cuál es la diferencia..?*

## LLAMA Y FRENTE DE LLAMA

**3.3.151 Llama de pre-mezcla.** Llama en la que el combustible y el comburente se mezclan antes de la combustión, como el mechero Bunsen de un laboratorio o una cocina de gas. La propagación de la llama depende de la interacción entre caudal, los procesos de transporte y la reacción química.



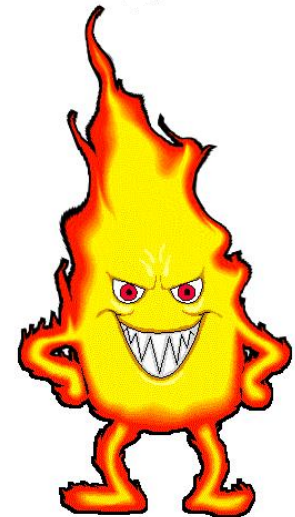
## LLAMA Y FRENTE DE LLAMA

**3.3.84 Llama.** Cuerpo o corriente de material gaseoso implicado en el proceso de combustión que emite energía radiante con longitudes de onda específicas según la química de combustión del material. En la mayoría de los casos, parte de la energía radiante emitida es visible para el ojo humano. [72, 2019]

**3.3.85 Frente de llama.** El borde de los gases ardiendo procedentes de una reacción de combustión.

# CIENCIA DEL FUEGO

**5.1.1\* Fuego y Energía.** El fuego es un proceso de oxidación rápido, que es una reacción química exotérmica, que resulta en la liberación de calor y energía luminosa en diferentes intensidades. Es importante que el investigador de incendios comprenda los conceptos básicos de energía, potencia y flujo de calor y cómo se utilizan las unidades de medida de cada uno para describir el comportamiento del fuego.



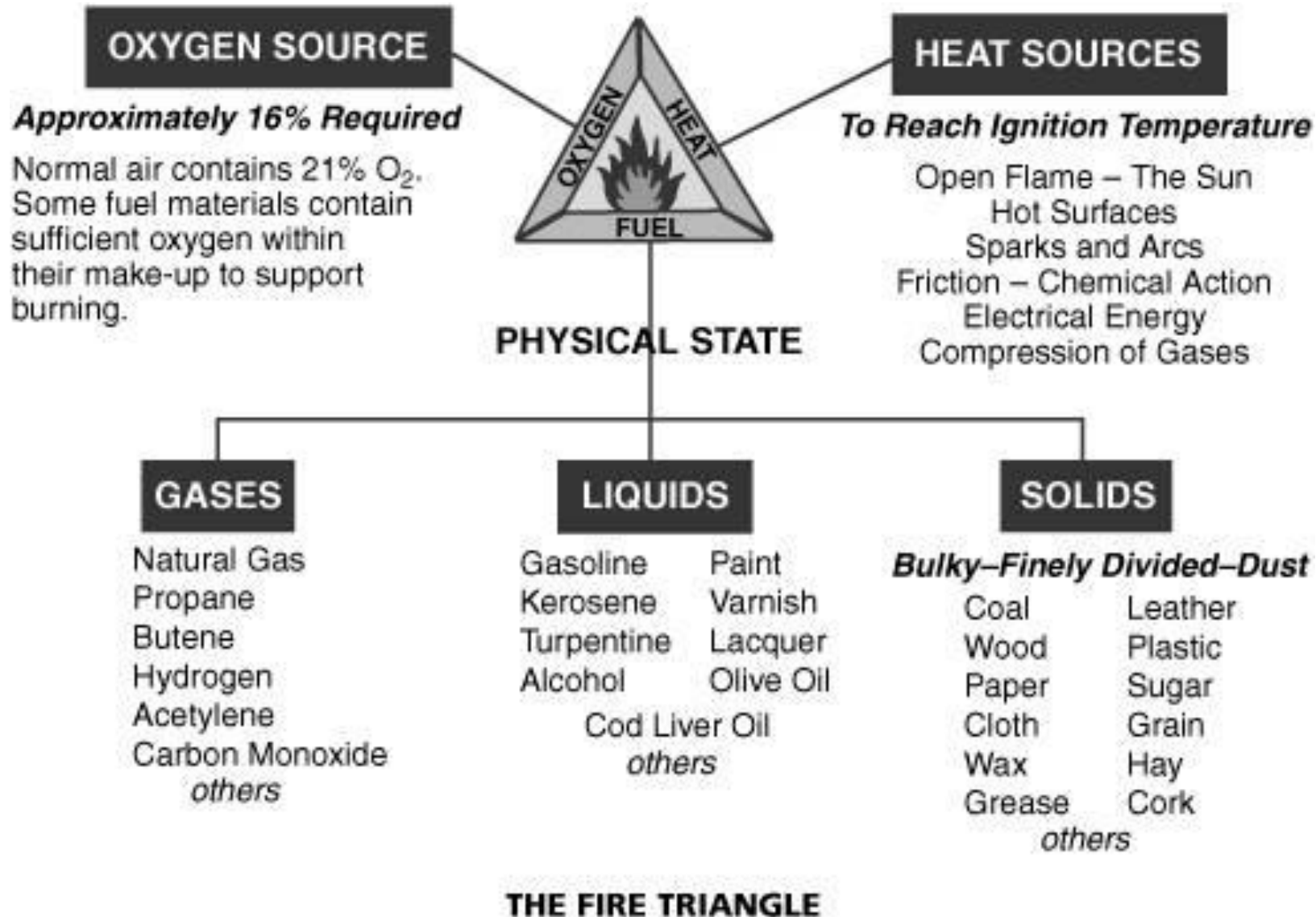
**5.1.2 Energía.** La energía es una propiedad de la materia que se manifiesta como la capacidad de realizar un trabajo, ya sea moviéndose una distancia contra una fuerza o transfiriendo calor. La energía puede cambiarse de forma (por ejemplo, de energía química a mecánica) o transferirse a otra materia, pero no puede crearse ni destruirse. La energía se mide en julios (J), calorías (cal) o unidades térmicas británicas (Btu). Un joule es el calor producido cuando un amperio pasa a través de una resistencia de un ohmio durante un segundo, o es el trabajo requerido para moverse a una distancia de un metro contra una fuerza de un newton. Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 g de agua en 1°C (por ejemplo, de 14°C a 15°C); una caloría es igual a 4.184 J. Un Btu es la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de 1 libra de agua 1°F a una presión de 1 atmósfera y una temperatura de 60°F; una unidad térmica británica es igual a 1055 J y 252,15 cal.

**5.1.3 Poder.** La potencia es una propiedad que describe la energía liberada por unidad de tiempo. Se requiere la misma cantidad de energía para llevar una carga por un tramo de escaleras, ya sea que la persona que la lleva camine o corra, pero se necesita más potencia para correr porque el trabajo se realiza en menos tiempo. El aumento de la temperatura de un volumen de agua requiere la misma cantidad de energía, ya sea que el aumento de temperatura tenga lugar en 10 segundos o en 10 minutos. Elevar la temperatura más rápidamente requiere que la energía se transfiera más rápidamente. La potencia se mide en julios por segundo (J/s) o vatios (W).





**5.1.4 Flujo de calor.** El flujo de calor es un término que describe la cantidad de energía por unidad de área. Un kilovatio distribuido en  $1 \text{ m}^2$  es aproximadamente igual al flujo de calor radiante al aire libre en un día soleado. Si ese mismo kilovatio se concentra con una lupa y solo se extiende sobre  $.05 \text{ m}^2$  ( $500 \text{ cm}^2$ ), puede haber suficiente energía transferida a esa área para provocar la ignición de los combustibles. El flujo de calor se mide en  $\text{kW}/\text{m}^2$  o  $\text{W}/\text{cm}^2$ .



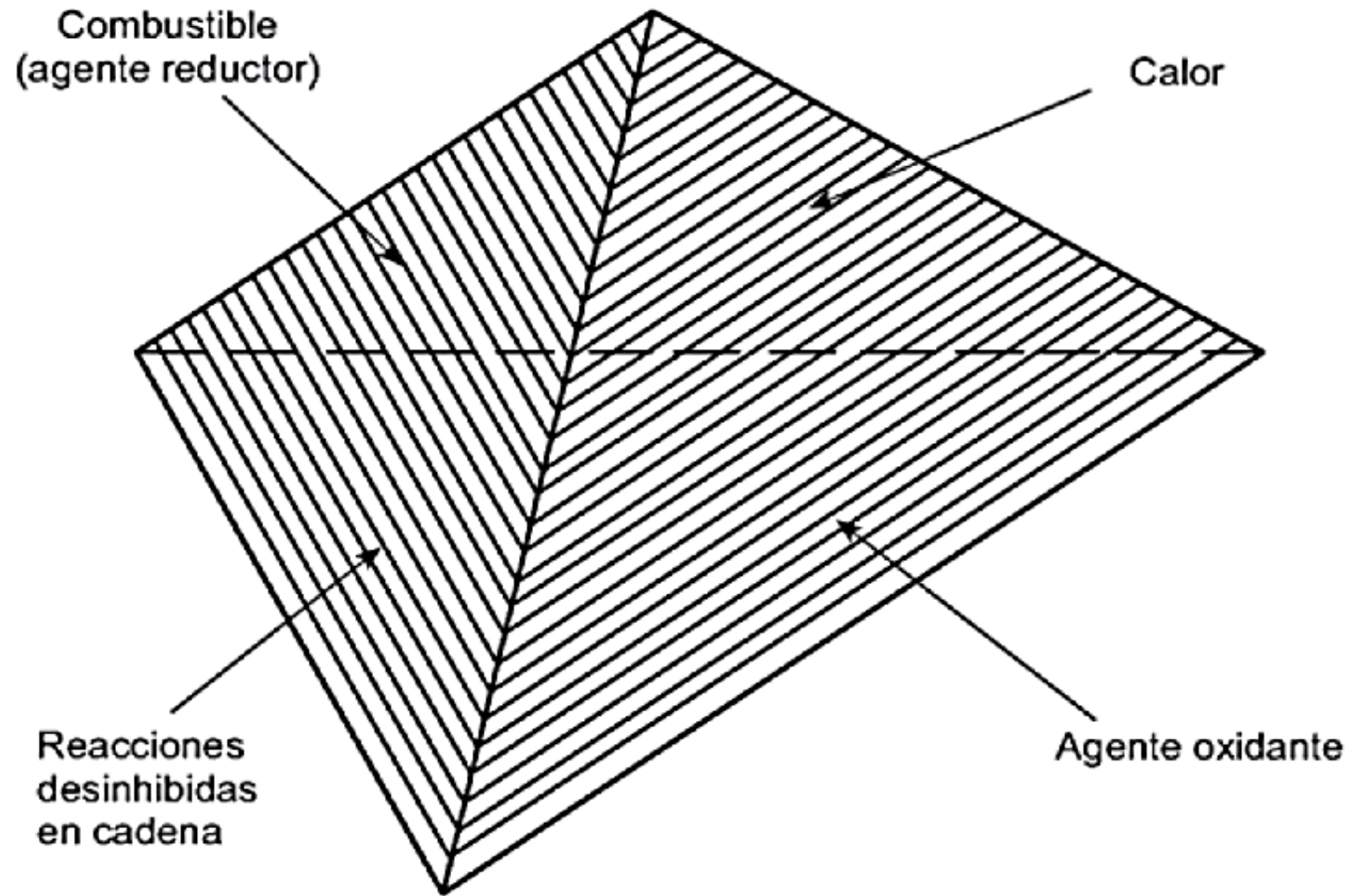


FIGURA 5.1.5 Tetraedro del Fuego

*Combustible*

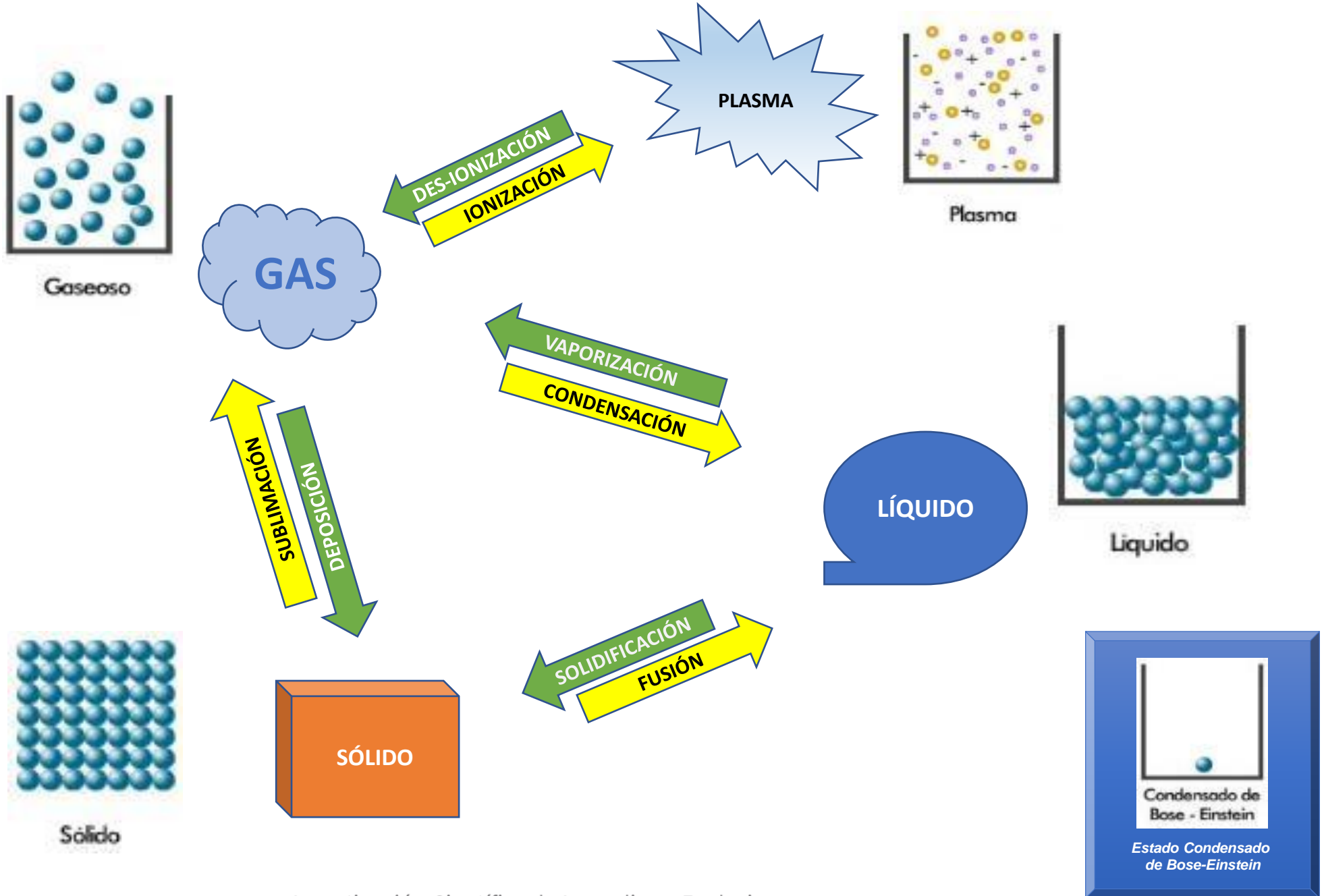
*Agente Oxidante*

*Calor*

*Reacción Química en Cadena Autosostenida*

## 5.2\* Química.

CAMBIOS DE ESTADOS DE LA MATERIA - ENTALPÍA





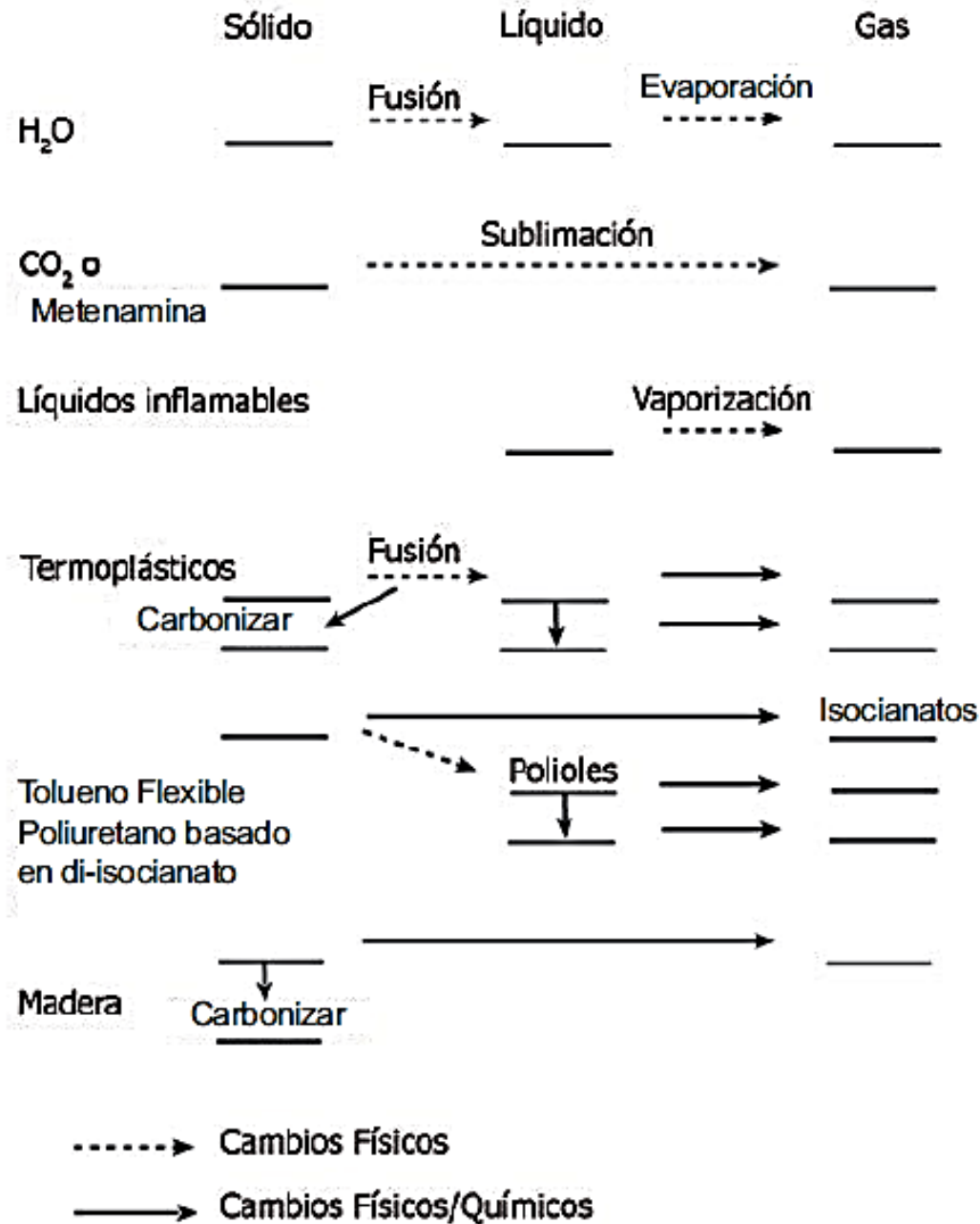
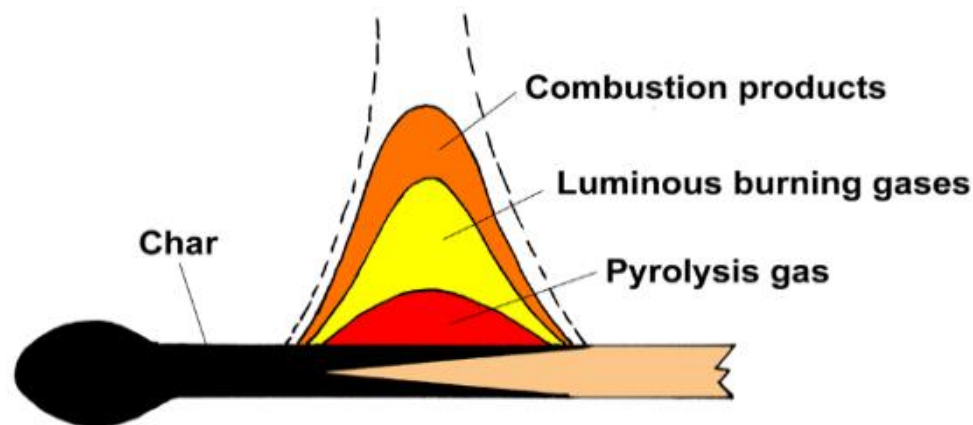


FIGURA 5.2.1 Cambios físicos y químicos producidos durante la descomposición térmica. [extraído de Beyler and Hirschler (2002).]

# PIRÓLISIS



**3.3.158 Pirólisis.** Descomposición química de un compuesto en una o más sustancias por el calor; la pirólisis precede generalmente a la combustión.

**5.2.1.2** La descomposición térmica implica cambios irreversibles en la estructura química de un material, debido a los efectos que le provoca el calor (pirólisis). La descomposición térmica de un sólido o un líquido suele producir gases. La madera se descompone formando carbón y vapores, algunos de los cuales son inflamables. Bajo un calentamiento intenso, el poliuretano flexible se descompone generando líquidos y vapores inflamables. En condiciones de calor más moderadas, el poliuretano flexible se descompone carbonizándose y generando gases o vapores inflamables.



# PIRÓLISIS



## 5.2.2.2 Combustibles Gaseosos.

Para que los gases inflamables y vapores de los líquidos inflamables puedan llegar a su punto de inflamación, deben mezclarse con la cantidad suficiente de oxidante (normalmente oxígeno atmosférico) que permita que el produzca la combustión suceda. El porcentaje en volumen de la mezcla de combustible gaseoso y aire, está siempre está dentro de un rango específico, dentro del cual se produce la combustión. Esto es conocido como rango de inflamabilidad o explosividad, de un combustible.

# TEMPERATURA DE IGNICIÓN (Flash Point)

## **3.3.117 Ignición.**

Proceso de iniciación de una combustión auto mantenida.

## **3.3.118 Energía de ignición.**

Cantidad de energía calorífica que debe absorber una sustancia para inflamarse y arder.

## **3.3.119\* Temperatura de Ignición.**

Temperatura mínima que debe alcanzar una sustancia para empezar a arder en condiciones específicas de laboratorio.

## LIMITES DE INFLAMABILIDAD

### 5.2.2.2.1 Rango de Explosividad/ Inflamabilidad.

El rango de explosividad o inflamabilidad de un combustible se expresa como el porcentaje en volumen de aire de gas o vapores combustibles. En este contexto, las palabras “explosivo” e “inflamable” son sinónimas. El rango explosividad o inflamabilidad es exclusivo del combustible involucrado. Cada gas o vapor inflamable tiene su propio rango o límites de inflamabilidad.



# LIMITES DE INFLAMABILIDAD



# LIMITES DE INFLAMABILIDAD

## 5.2.2.2 Límite Inferior de Explosividad

(Límite Inferior de Inflamabilidad). El porcentaje mínimo en volumen de aire de combustible que puede producir la combustión es el límite inferior de explosividad (LIE) de un material. Una mezcla que está por debajo de su LIE no puede entrar en combustión. Esto se debe a que por debajo del LIE no existen las suficientes moléculas de combustible en la mezcla. En este caso, puede decirse que la mezcla es “demasiado pobre”.

## 5.2.2.3 Límite Superior de Explosividad

(Límite Superior de Inflamabilidad). También existe un límite superior en el porcentaje en volumen de combustible en el aire en el cual se da una combustión. Este recibe el nombre de límite superior de explosividad (LSE). Esto se debe a que por encima del LSE la combustión no tendrá lugar debido a la insuficiente presencia de moléculas de oxígeno en la mezcla. Esta mezcla puede considerarse como “demasiado rica”.

## 5.3\* Productos de la Combustión

# HUMO Y HOLLÍN

## **3.3.177 Humo.**

Las partículas sólidas y líquidas y los gases en el aire se desprenden cuando un material se somete a pirólisis o combustión, junto con la cantidad de aire que es arrastrado o mezclado de otro modo en la masa.

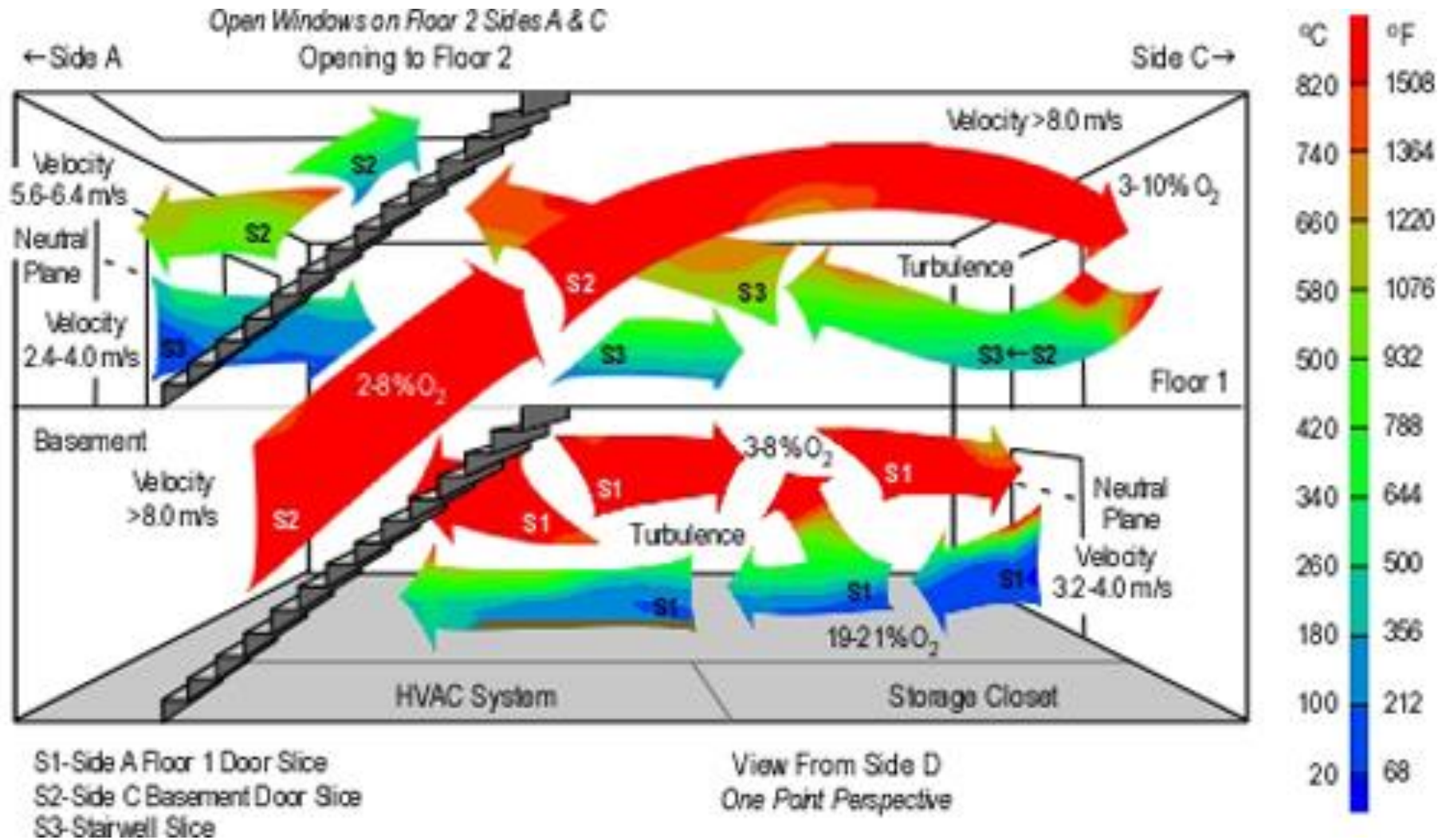
**3.3.181 Hollín.** Partículas negras de carbón que se producen en una llama.



## COLOR DEL HUMO Y DE LAS LLAMAS

**5.3.7** El color del humo no es siempre un indicador de cual es el producto que está ardiendo. Aunque el humo producido por un incendio de madera bien ventilado y controlado es de color claro o gris, el mismo combustible, en condiciones de bajo contenido de oxígeno o en condiciones de ventilación controlada en un incendio producido tras una situación de “flashover”, puede ser obscuro e incluso negro. El humo de color negro también puede ser consecuencia de la combustión de otros materiales, incluyendo plásticos o líquidos

## **5.4\* Movimiento de Humos y Gases**

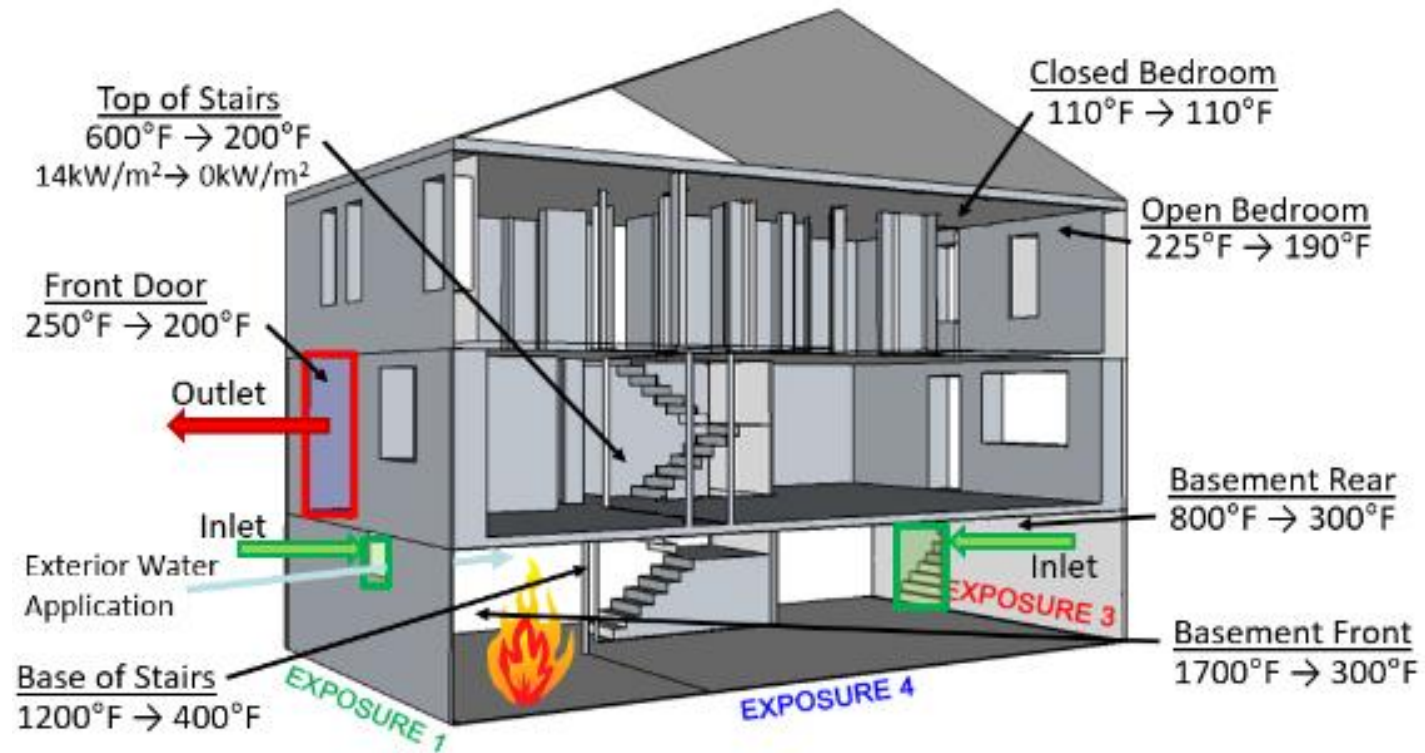


# HUMO Y HOLLÍN

**5.4.1 Generalidades.** El desplazamiento de los humos y gases puede deberse a fuerzas mecánicas (por ejemplo, ventiladores) o a los movimientos de convección generados por la diferencia de temperaturas. En los incendios, son estas fuerzas de convección las más significantes en la mayoría de los casos. Los flujos de convección importantes de un incendio ocasionan penachos de gases por encima de los objetos en combustión, un desplazamiento de gases a la altura del techo cuando el penacho choca con él y un movimiento de gases calientes hacia el exterior, a través de ventanas y puertas (flujos de ventilación).

## 5.4.2 Flujos de convección.

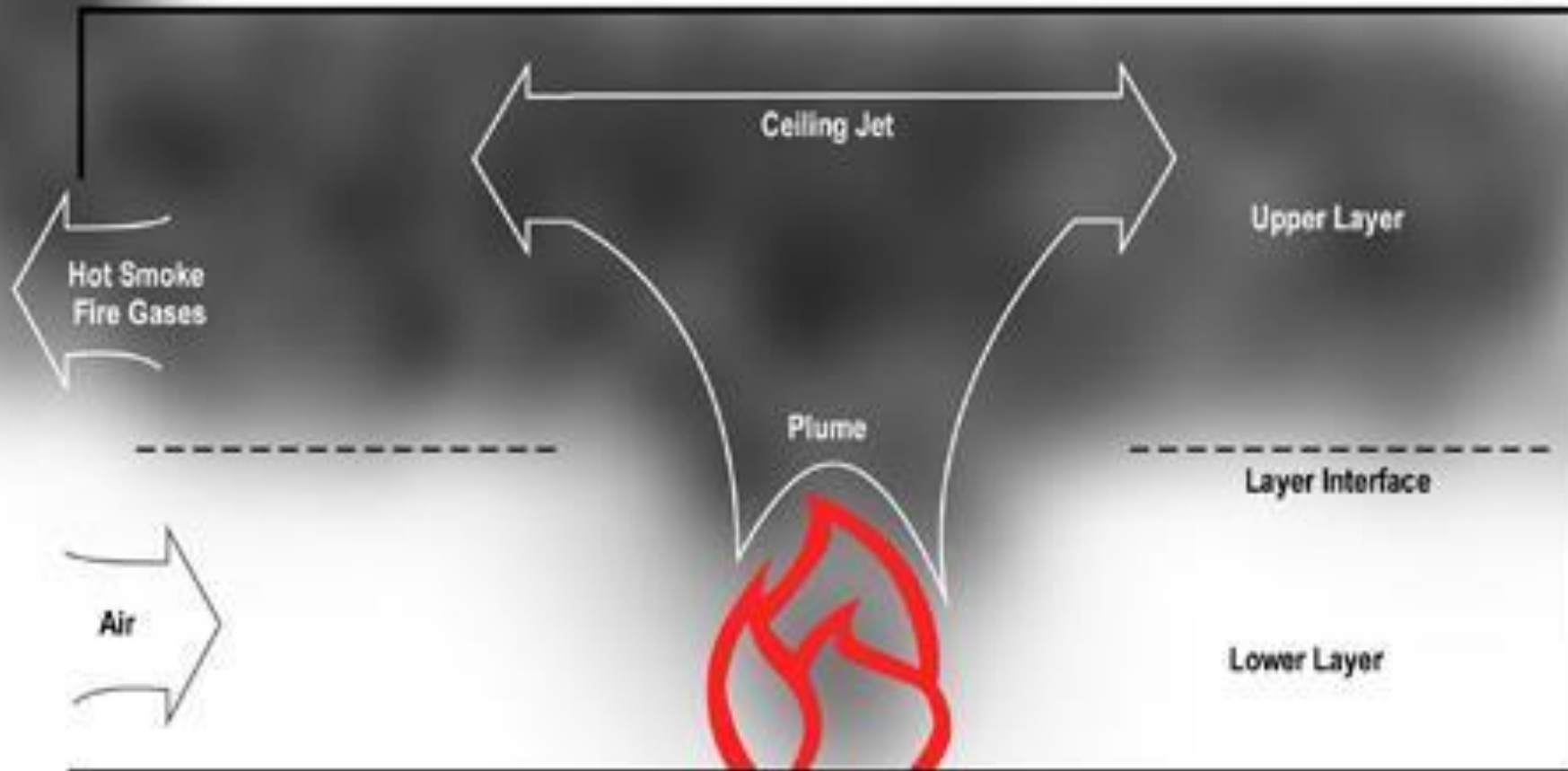
Los movimientos por convección se producen debido a que los gases calientes son menos densos que los fríos. Esta diferencia de densidad provoca su elevación de la misma forma que lo hace un globo de aire caliente.







- Penachos.
- Chorro fluido de techo (Ceiling Jet).
- Flujo de ventilación.



# TRASMISIONES DE CALOR





# TRASMISIONES DE CALOR

## (fuegos por transferencia)



**Pavesas o chispas volantes**



**Termoplásticos**

# TERMOMETRÍA & TERMODINÁMICA



¿Cuál es la temperatura promedio en un incendio?

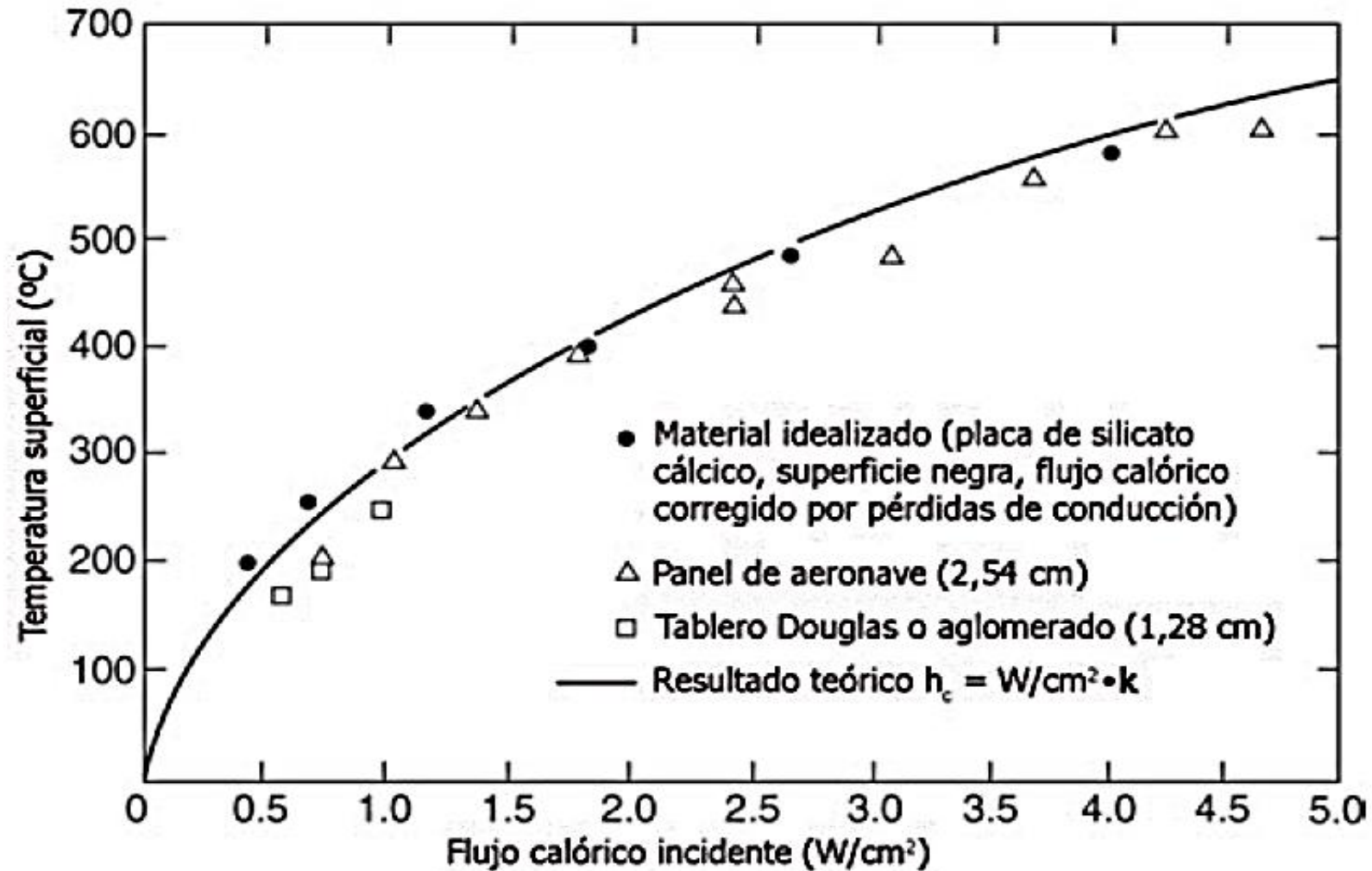
# 5.5\* Transferencia de Calor

## 5.5.2.3 Inercia Térmica.

Durante el calentamiento pasajero, una condición más común, se produce un cambio en la velocidad de transferencia de calor y en la temperatura. Durante este período, las tres propiedades—conductividad térmica ( $k$ ), densidad ( $\rho$ ), y capacidad calorífica ( $c$ )— juegan una función. La multiplicación matemática de estas propiedades da lugar a lo que se denomina inercia térmica,  $k\rho c$ , de un material.

La inercia térmica de un material es una medida de la facilidad con la que aumentará la temperatura de la superficie del material cuando el calor fluya hacia el material. Los materiales de baja densidad como la espuma de poliuretano tienen una baja inercia térmica y la temperatura de la superficie aumentará rápidamente al exponerse a un flujo de calor. Por el contrario, los metales tienen una alta inercia térmica debido a su alta conductividad térmica y alta densidad. Como tal, cuando se expone a una llama, la temperatura de la superficie de un objeto metálico aumenta relativamente lentamente en comparación con la temperatura de la superficie de un objeto de plástico o madera. La Tabla 5.5.2.3 proporciona datos para algunos materiales comunes a temperatura ambiente. Las propiedades térmicas son generalmente una función de la temperatura.





**FIGURA 5.5.2.2** Temperaturas Superficiales Máximas alcanzadas por un Flujo de Radiación de Estado Estacionario a Temperatura Ambiente Normal [20°C (68°F)].









Material	Conductividad térmica ( $k$ ) (W/m-K)	Densidad ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Capacidad calorífica ( $c$ ) (J/kg-K)	Inercia Térmica ( $k\rho c$ ) (W <sup>2</sup> · s/k <sup>2</sup> m <sup>4</sup> )
Cobre	387	8940	380	1.31E+09
Hormigón	0.8–1.4	1900–2300	880	1.34E+06–2.83E+06
Capa de Yeso	0.48	1440	840	5.81E+05
Roble	0.17	800	2380	3.24E+05
Pino (amarillo)	0.14	640	2850	2.55E+05
Poliétileno	0.35	940	1900	6.25E+05
Poliestireno (rígido)	0.11	1100	1200	1.45E+05
PVC	0.16	1400	1050	2.35E+05
Poliuretano*	0.034	20	1400	9.52E+02

\* Estos valores y propiedades cambian con la temperatura. *Extraído de:* Drysdale ( 2011 ).

**Tabla 5.5.2.3** Propiedades Térmicas de Algunos Materiales

# TEMPERATURA v/s TERMOMETRÍA

**3.3.191\* Temperatura.** Intensidad del calor sensible de un cuerpo, medida con un termómetro o aparato similar

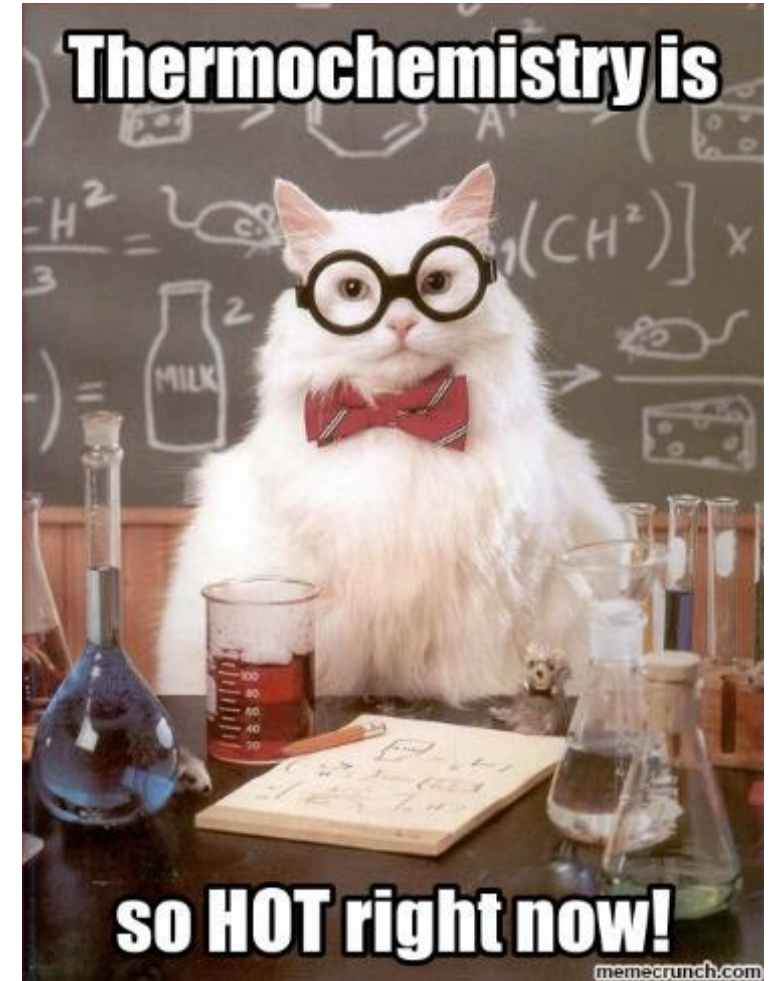
**A.3.3.191 Temperatura.** La menor temperatura posible es el cero absoluto en la escala de temperaturas Kelvin (-273 grados en la escala Celsius). En el cero absoluto de temperatura, un cuerpo no puede liberar energía alguna.

**3.3.196 Termometría.** El estudio de la ciencia, metodología y práctica de la medición de temperatura.

# TERMOMETRÍA

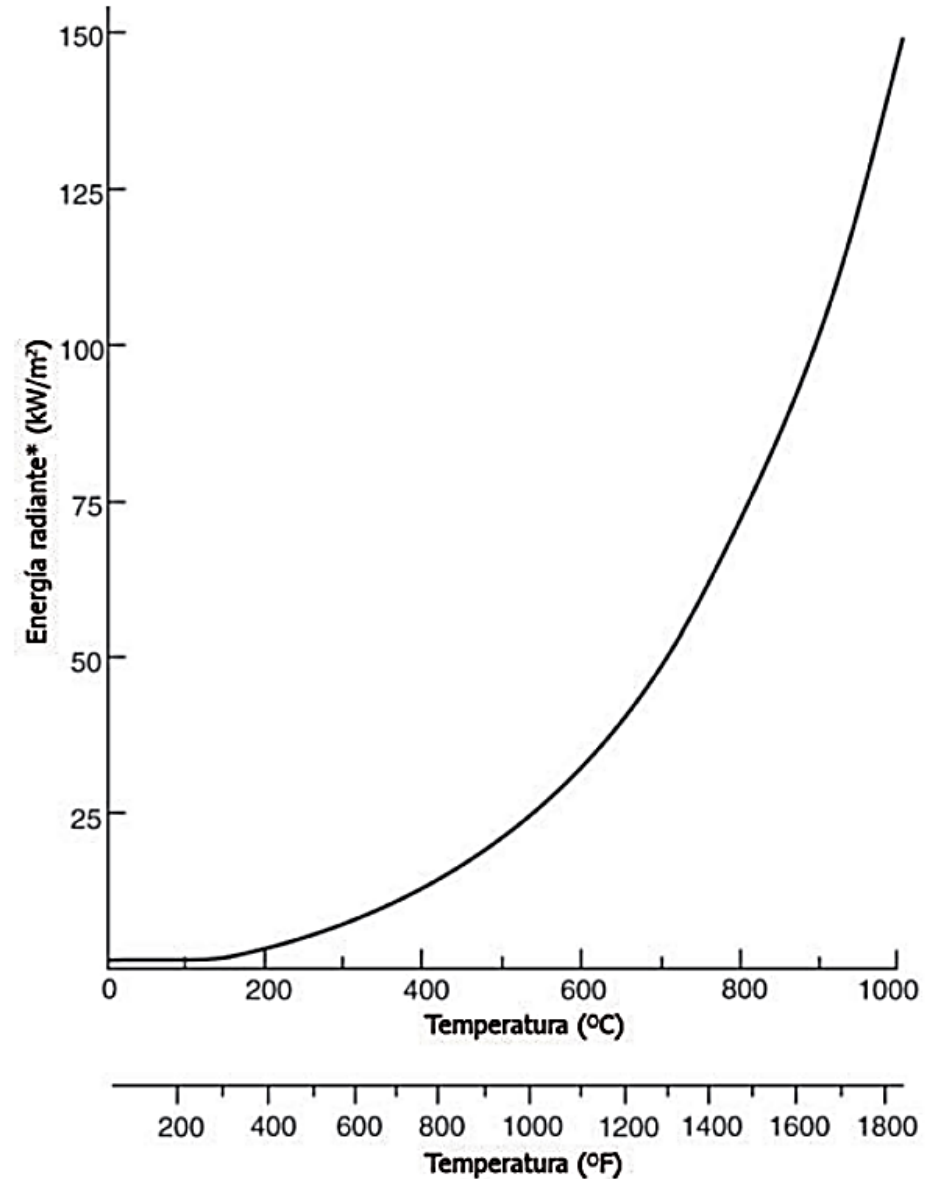
## 5.5.5\* Termometría.

La Termometría es el estudio de la ciencia, metodología y práctica para la medición de temperaturas. Aunque la Termometría, salvo excepciones, no es normalmente necesaria en la escena de un fuego, si se utiliza frecuentemente durante los análisis, o en aquellos en que casos en que para el cumplimiento de los códigos o medidas de protección contra incendios se requiera usar las fórmulas físicas o termodinámicas.



# TERMOMETRÍA

**5.5.5.1** Existen multitud de sistemas para medir la temperatura y el calor o frío relativos de una sustancia. Estos sistemas pueden clasificarse en dos categorías: escalas empíricas de temperatura, y escalas de termodinámicas de temperatura.



\*Asumiendo un cuerpo negro

**FIGURA 5.5.4.1** Relación entre Radiación y Temperatura

# CALOR

**3.3.106\* Calor.** Forma de energía que se caracteriza por la vibración de moléculas, capaz de iniciar y mantener cambios químicos y de estado.

**A.3.3.106 Calor.** El calor se mide en julios, calorías o unidades térmicas británicas (Btu's). El calor no se mide en grados Centígrados o Fahrenheit, la unidad julio es la preferida. Un julio/segundo es un vatio (*ver 3.3.203.*)



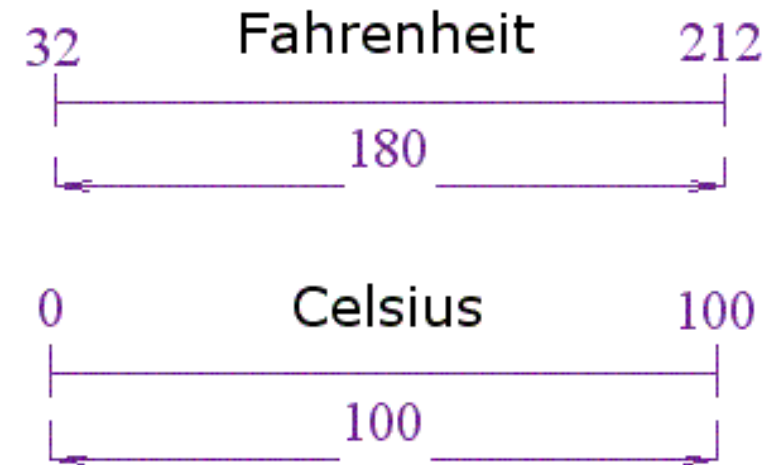
# FLUJO CALÓRICO Y TLC (HRR)

**3.3.108 Flujo calorífico.** Medida de la velocidad de transmisión de calor a una superficie o área, expresado en  $\text{kW/m}^2$  o  $\text{W/cm}^2$ .

**3.3.110\* Tasa de liberación de calor (HRR).** Velocidad a la que se genera la energía calorífica por la combustión.

**A.3.3.108 Velocidad de Liberación de Calor (HRR).** La velocidad de liberación de calor de un combustible está relacionada con su química, forma física, y disponibilidad de oxidante, y suele expresarse como  $\text{Btu/s}$  o kilovatios (kW).

# ESCALAS EMPÍRICAS



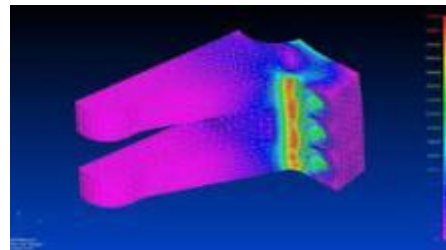
## 5.5.5.2 Escalas Empíricas de Temperatura.

Las escalas Fahrenheit y Celsius (grados centígrados), son las más conocidas de entre las escalas empíricas de temperatura. El valor de un grado de temperatura en cada uno de estos sistemas, se basa en la temperatura relativa a la cual el agua comienza a hervir o a congelarse, así como la comparación de otros valores empíricos.

# ESCALAS TERMODINÁMICAS

## 5.5.5.3 Escalas Termodinámicas de Temperatura (Absolutas).

Las escalas termodinámicas de temperatura se basan en la temperatura más baja posible, el cero absoluto, y por eso se llaman escalas absolutas de temperatura. La definición más sencilla de cero absoluto es: La temperatura teórica más baja que puede darse, caracterizada por la ausencia de calor y movimiento de moléculas. Las escalas termodinámicas de temperatura se diferencian de las escalas empíricas en que éstas se basan en las leyes fundamentales de la termodinámica o en mecanismos estadísticos, en lugar de basar su escala en las propiedades del agua. Cuando se miden temperaturas absolutas en el SI se utilizan grados Kelvin (símbolo: K). En muchas de las disciplinas técnicas de los EE.UU., sin embargo, miden la temperatura termodinámica usando la escala Rankine (símbolo: R).





# Temperature Scales

## Empirical

Fahrenheit

Celsius

Boiling Point **212°**

**100°**

Freezing Point **32°**

**0°**

Absolute Zero **-460°**

**-273°**

## Thermodynamic

Kelvin

Rankine

**317**

**672°**

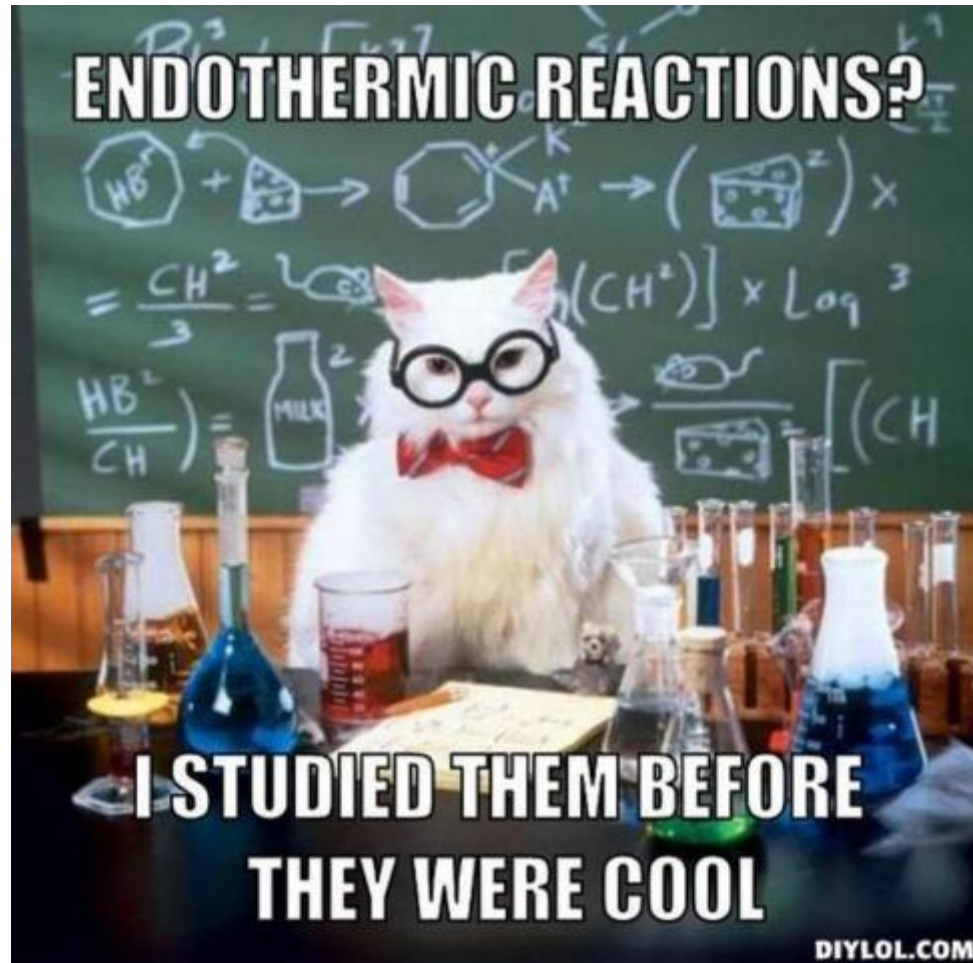
**273**

**492°**

**0**

**0°**

# REACCIONES ENDOTÉRMICAS Y EXOTÉRMICAS



# **5.6\* Carga de Fuego, Grupos de Combustibles y Propiedades de las Llamas.**

## Tasa de Emisión de Calor (TEC) Heat Release Rate (HRR)

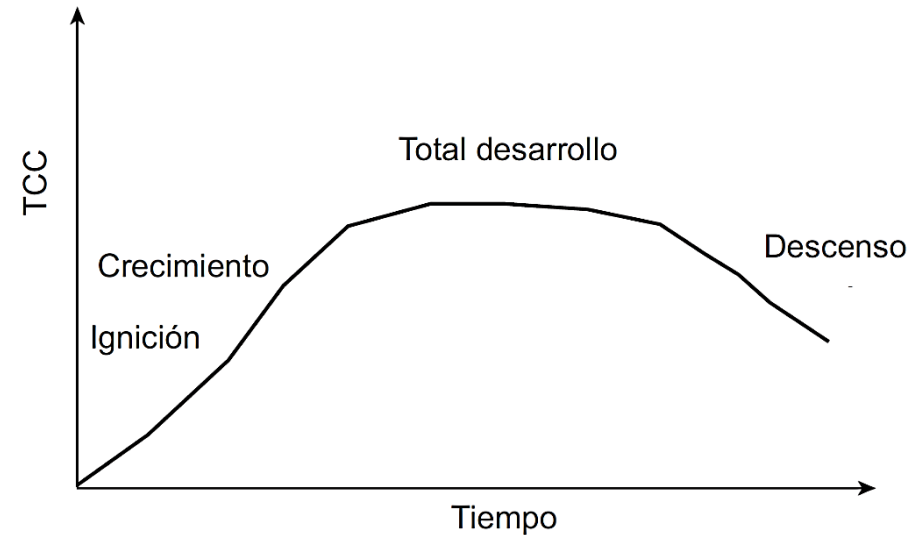
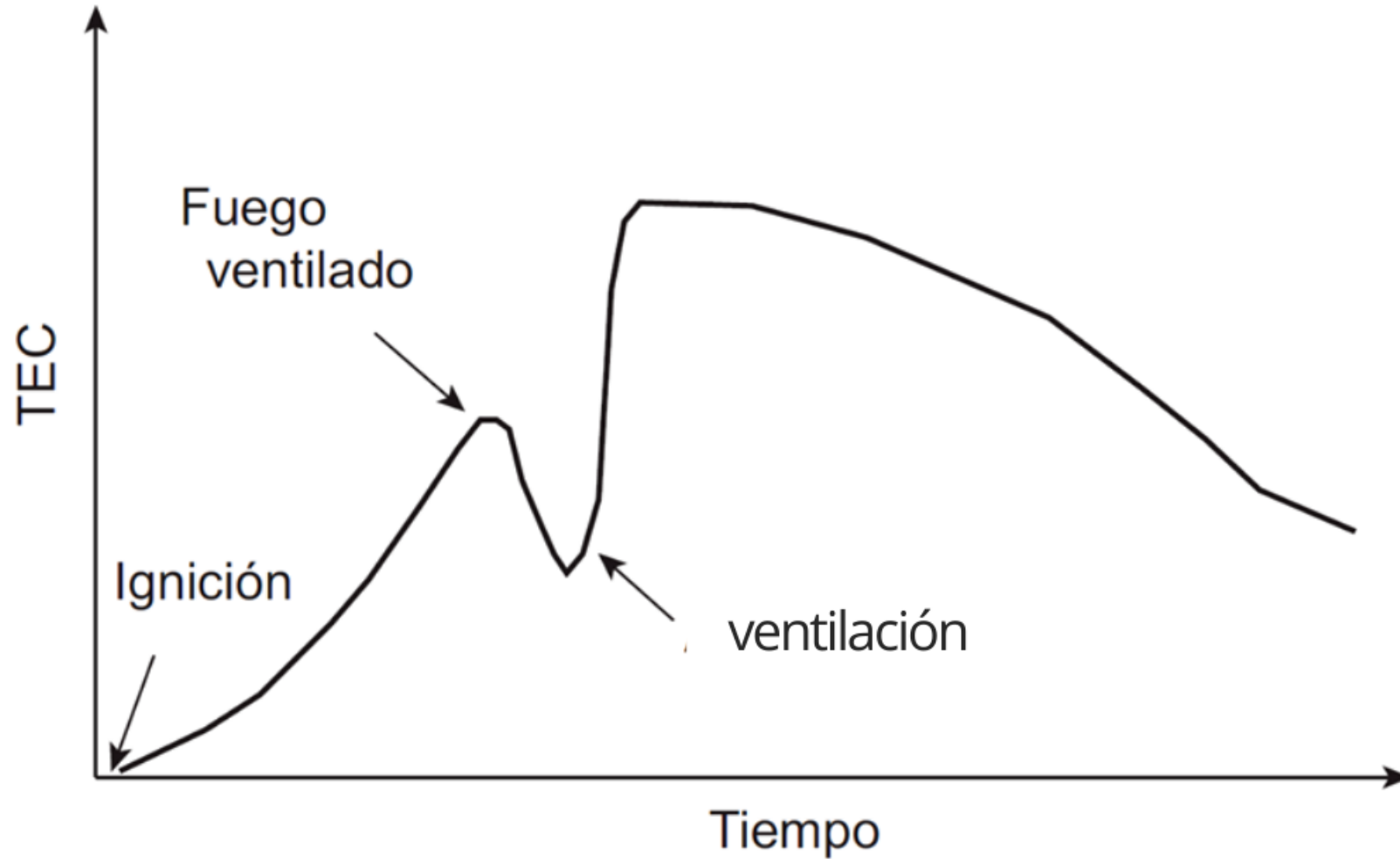


FIGURA 5.6.3.1(a) Curva TEC ideal de un fuego controlado.

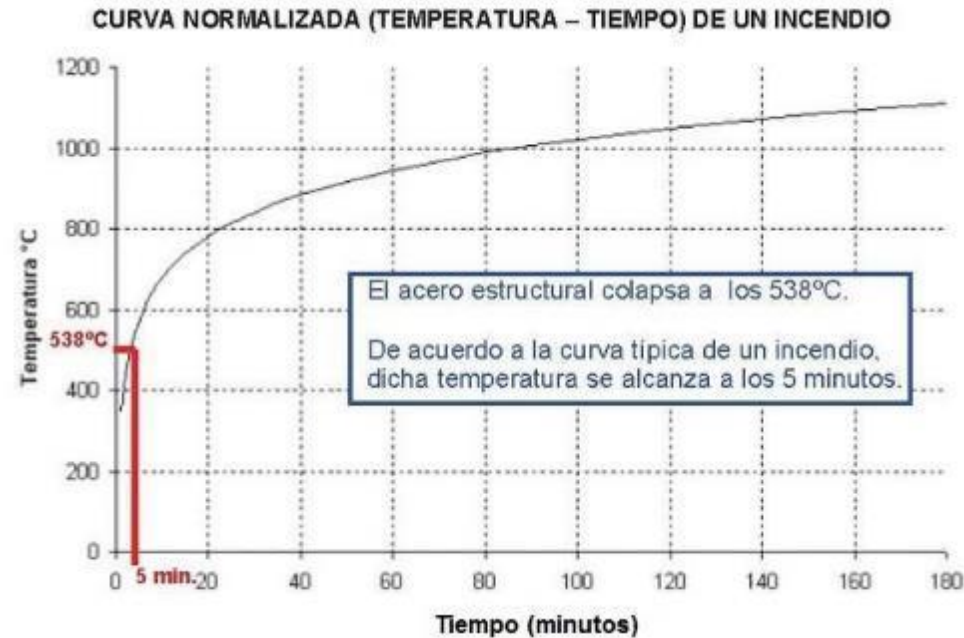
### 5.6.3 Velocidad de Desprendimiento de Calor.

**5.6.3.1 General.** La carga total de material combustible de una habitación no tiene relación con la tasa de crecimiento de un incendio durante la fase “pre-flashover”. Durante este período de su desarrollo, la tasa de crecimiento del fuego está determinada por la Tasa de Emisión de Calor (TEC) de específica de cada combustible. La TEC describe como se libera la energía disponible en un material o grupo de materiales. (...)

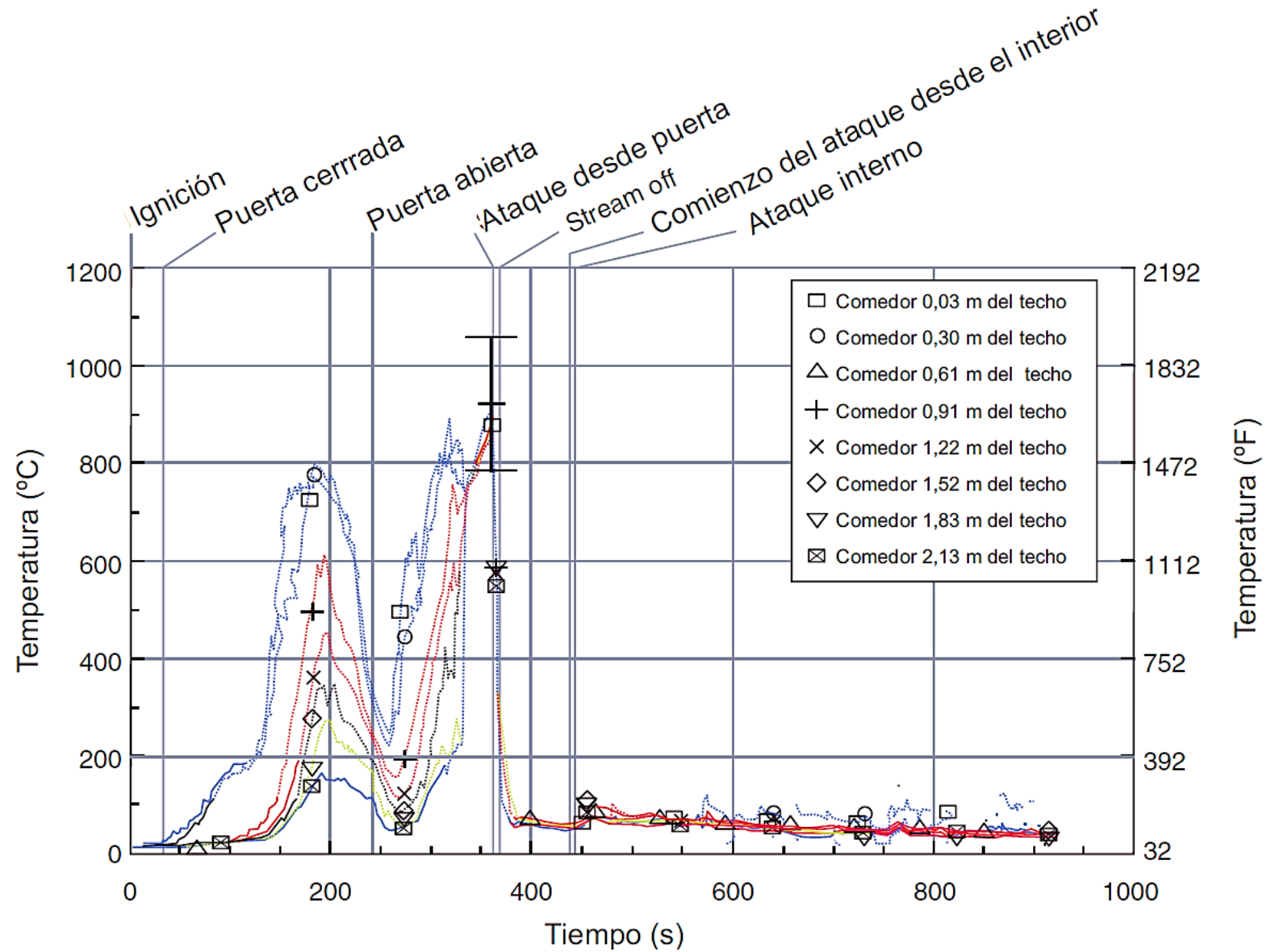


**FIGURA 5.6.3.1(b)** Curva TEC ideal de un fuego con ventilación controlada.

# CURVA NORMALIZADA TEMPERATURA - TIEMPO DE UN INCENDIO



En efecto, las propiedades mecánicas del acero no son las mismas a 20°C (temperatura que se suele considerar de referencia para el diseño de estructuras de acero), que las que pueda tener a 200°C, 400°C ó a 1000°C. De hecho, y según ensayos realizados en base a la Norma NFPA 251 el acero estructural colapsa al alcanzar los 538°C. Así, y según la curva de la figura 1 siguiente, en un incendio tipo esta temperatura se alcanzaría aproximadamente a los 5 minutos de originarse.



**FIGURA 5.6.3.1(c)** Mediciones de reales de temperatura en una prueba hecha a un fuego, primero infra ventilado, y después ventilado por la apertura de una puerta.



## Tasa de Emisión de Calor (TEC)

### Heat Release Rate (HRR)

**5.6.3.2\* Fuegos en espacios cerrados.** La cantidad total de combustible en un espacio cerrado no tiene relación con la tasa de crecimiento de un incendio durante la fase de “preflashover”. Durante este período de su desarrollo, la tasa de crecimiento del fuego está determinada por la Tasa de Emisión de Calor (TEC) específica de cada combustible. En un incendio confinado, a medida que otros objetos se van incendiando, su TEC individual se combina para dar lugar a la TEC del recinto. Los ensayos para medir la TEC de un objeto o paquete combustible, suelen realizarse en un espacio abierto, donde no existen los efectos de la radiación que se producen en un espacio cerrado. Sin embargo, cuando un combustible es expuesto al calor de radiación, como la que puede llegar de la parte superior del recinto, se puede incrementar de forma significativa el valor de TEC del objeto, comparado con el obtenido en un espacio abierto. Los dos factores principales que inciden en la TEC de un objeto ardiendo en un espacio cerrado, son la radiación de calor desde las zonas circundantes y de la capa superior de gases calientes, y la disponibilidad de aire para la combustión (i.e., ventilación para los espacios cerrados). Si hay disponible un caudal de aire suficiente, esto puede mejorar las condiciones de combustión, lo cual puede propiciar la mejora en las condiciones del fuego, haciendo subir el valor de TEC. Las restricciones en el caudal de aire pueden generar condiciones de baja ventilación dentro del recinto y reducir el valor de TEC, comparado con el obtenido en espacios abiertos.



## Propiedades de la Llama

**5.6.4.1 Color de las Llamas.** El color de las llamas no es necesariamente un indicador preciso de lo que está ardiendo o de la temperatura de las mismas.

**5.6.4.2** El tamaño visible de una llama se expresa normalmente como la altura de la llama y las dimensiones del fuego (longitud y diámetro del grupo de combustibles afectado). La observación de un incendio durante un tiempo revela que la altura de las llamas fluctúan durante el mismo. En general, se emplean las siguientes tres medidas visuales de altura de las llamas:

- (1) Altura continúa de la llama — altura sobre la cual se ven las llamas en todo momento
- (2) Altura media de la llama — altura sobre la cual se ven las llamas durante un 50 % del tiempo
- (3) Altura punta de la llama — altura máxima sobre la cual se ven las llamas en algún momento

## Propiedades de la Llama

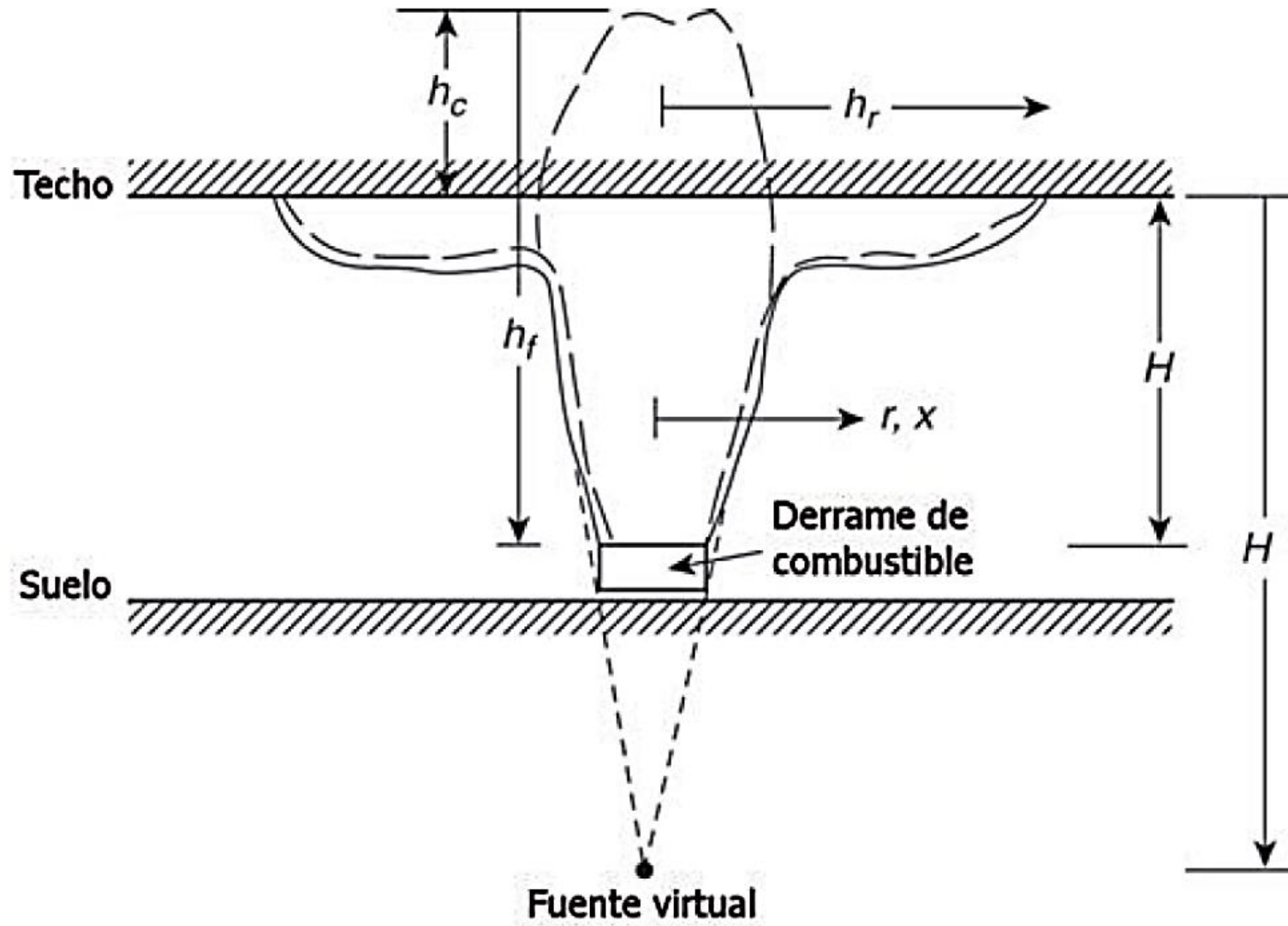
**5.6.4.3** Las siguientes definiciones de altura de llama definen las tres zonas de un incendio:

- (1) Zona continuamente en llamas (parte inferior de las llamas visibles)
- (2) Zona intermitentemente en llamas (parte superior de las llamas visibles)
- (3) Zona de la pluma (por encima de las llamas visibles)

## Propiedades de la Llama

### 5.6.4.6\* Situación de la Carga de Combustible.

**5.6.4.6.1 Aporte de Aire.** Cuando la carga de combustible ardiendo esta situada lejos de una pared, el aire puede entrar libremente desde todas las direcciones y mezclarse con los gases de combustión. Si la carga está pegada a la pared, o en un rincón (formado por la intersección de dos paredes), el aporte de aire a la pluma de gases puede estar restringido, creando un desequilibrio en la corriente de aire. Como consecuencia de ese desequilibrio en la corriente de aire, la llama y los gases de la pluma pueden girar contra la o las superficies que crean la restricción



**FIGURA 5.6.4.7** Representación de las Alturas Teóricas de Llama en un Recinto con Techo.

## 5.7\* Ignición

**5.7\* Ignición.** Las formas y mecanismos de la ignición varían con el tipo de material (gas, líquido, sólido), sus propiedades químicas y la forma e intensidad del calentamiento. Los tipos de ignición incluyen ignición incandescente frente a ignición con llama, e ignición pilotada frente a autoignición. La ignición pilotada se produce cuando una fuente de calor externa produce la ignición de vapores inflamables. Entre este tipo de fuentes de ignición se incluyen las llamas pequeñas, las chispas y las superficies calientes.

**5.7.1.1** La Tabla 5.7.1.1 recoge la temperatura de determinadas fuentes de ignición. Unos cuantos materiales, como cigarrillos, muebles tapizados, serrín, y aislamientos celulósicos, son permeables y permiten la filtración de aire. Estos materiales pueden quemarse en combustión de fase sólida, conocido como combustión incandescente o sin llama. Este es un modo de combustión sin llama cuya principal fuente de calor es la oxidación del carbonizado. La combustión sin llama es peligrosa, porque produce más componentes tóxicos, por unidad de masa quemada, que la combustión con llama y proporciona una oportunidad de combustión con llama con una fuente de calor demasiado débil para producir llama directamente.

Fuente	Temperatura	
	°C	°F
Llamas		
Benceno <sup>a</sup>	920	1690
Gasolina <sup>a</sup>	1026	1879
JP-4 <sup>b</sup>	927	1700
Keroseno <sup>a</sup>	990	1814
Metanol <sup>a</sup>	1200	2190
Madera <sup>c</sup>	1027	1880
Brasas <sup>d</sup>		
Cigarrillo (al aplastarlo)	830–910	1520–1670
Cigarrillo (encendido)	500–700	930–1300
Chispa mecánica <sup>e</sup>		
De herramientas de acero	1400	2550
De cobre níquel	300	570

**Tabla 5.7.1.1** Temperaturas de determinadas fuentes de ignición

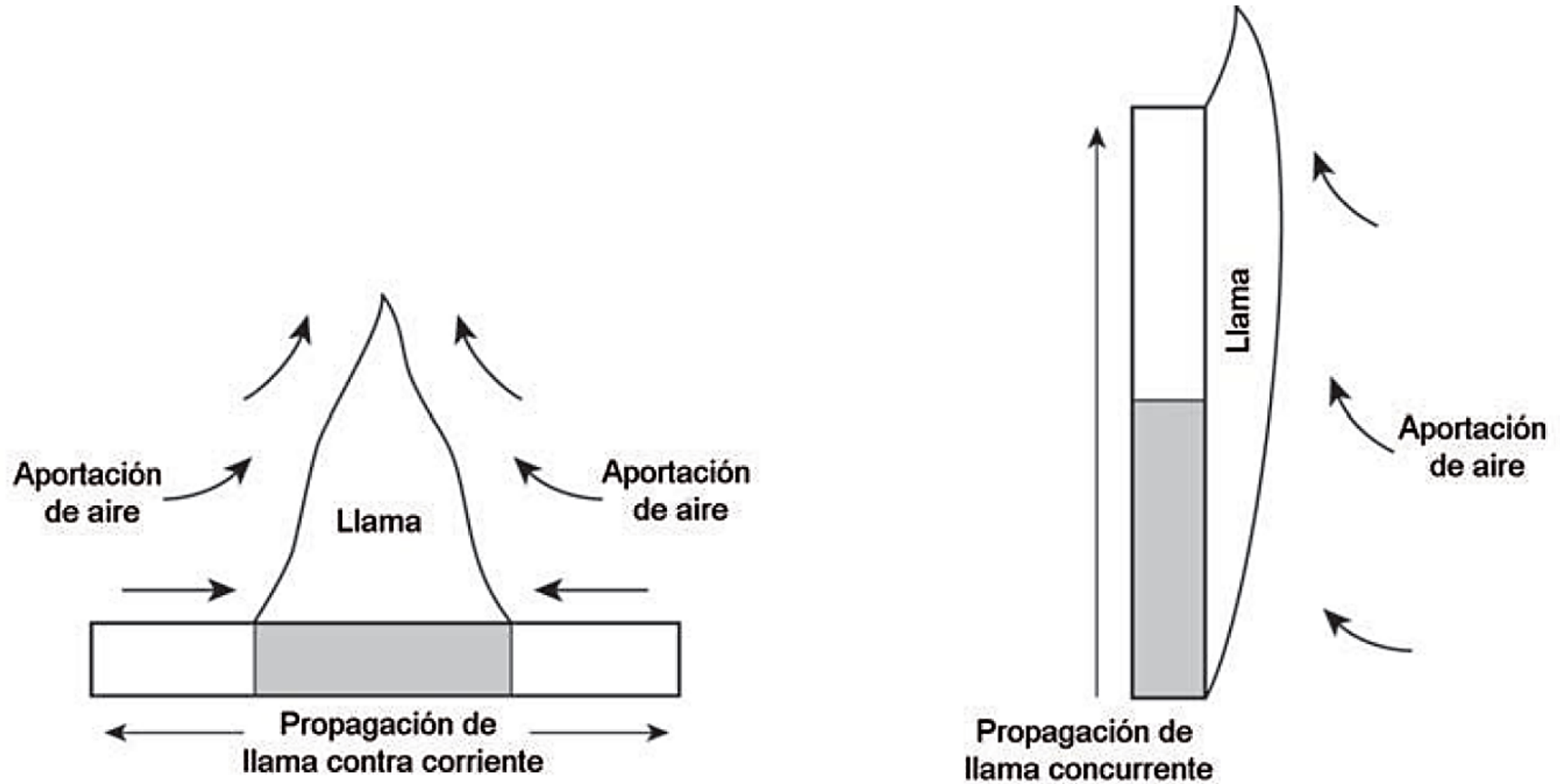
**5.7.4.1.6 Materiales Pirofóricos.** Algunos elementos, en particular el fósforo blanco, sodio, potasio, y algunos metales finamente divididos, como el circonio, se inflaman espontáneamente cuando se exponen al aire. Estos materiales que experimentan una combustión espontánea en presencia de aire se denominan pirofóricos.



### **5.7.4.1.7 Transición a la Combustión con Llama.**

**5.7.4.1.7.1** La combustión incandescente puede evolucionar a una combustión con llama si aquella genera una cantidad suficiente de vapores inflamables para que se produzca una ignición de llama pilotada. Esto ocurre normalmente cuando la incandescencia se reaviva a consecuencia de la entrada de un flujo de aire, por ejemplo el que se genera con la propagación de la incandescencia, por la formación de canales o huecos que actúan como chimeneas, o por la entrada externa de un flujo de aire. Cuando se alcanza una concentración de vapores inflamables, las brasas incandescentes pueden actuar como foco de ignición de estos vapores.

## 5.8\* Propagación de la Llama



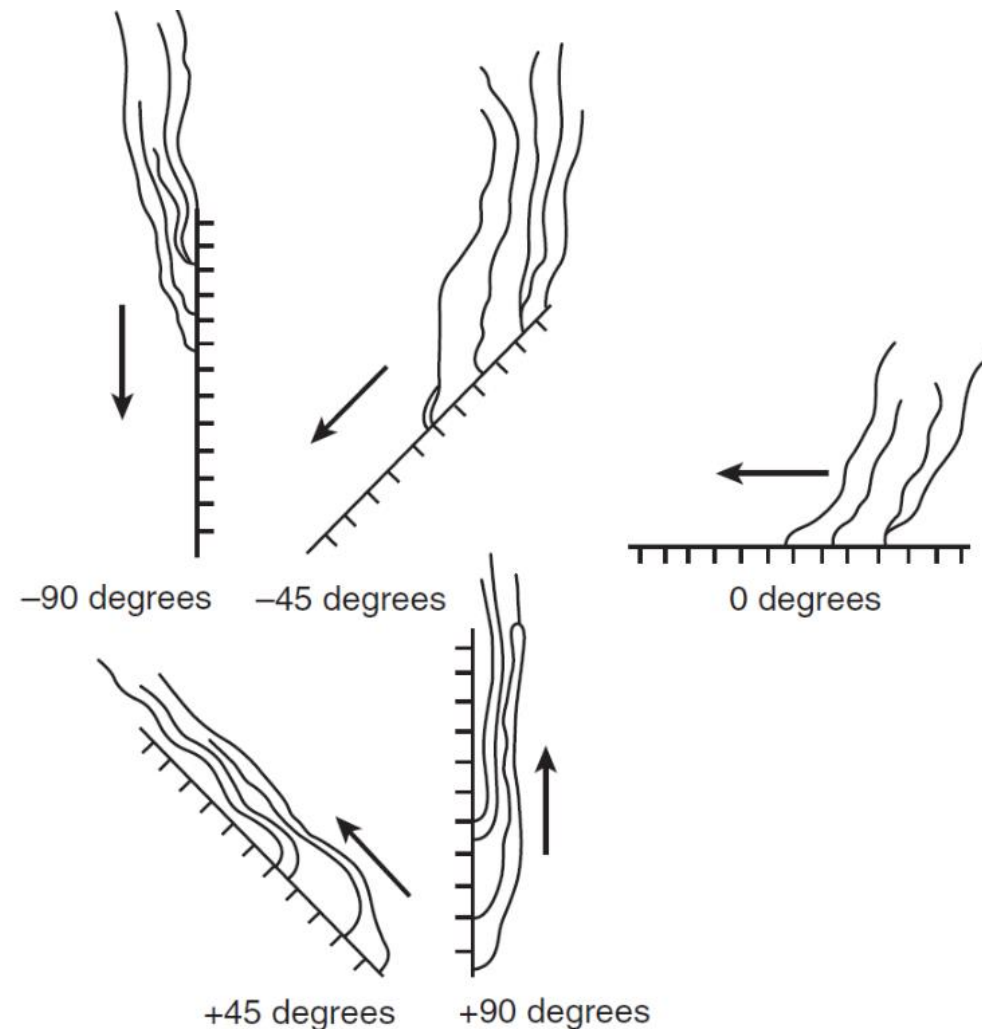
**FIGURA 5.8.1** Ejemplos de Propagación de la Llama Contracorriente y Concordante. [Fuente: Beyler y DiNenno (1994).]

**5.8.1.1 Propagación a contracorriente de la Llama.** La propagación de la llama a contracorriente o a contraflujo se produce cuando la llama se extiende en una dirección opuesta al flujo de gas. Por ejemplo, la propagación lateral sobre una superficie horizontal (Figura 5.8.1) o la propagación descendiente en una superficie vertical. En general, este tipo de propagación es lenta debido a las limitaciones para calentar el combustible por delante del frente de llama.

**5.8.1.2 Propagación Concordante de la Llama.** La propagación concordante de la llama, también conocida como propagación asistida por el viento, se presenta cuando su dirección es igual a la del flujo de gas o dirección del viento. Como ejemplo puede citarse la propagación ascendente sobre una pared. La propagación concurrente suele ser bastante rápida, debido a que la llama permanece en contacto directo con el combustible por delante del frente de llama.

### 5.8.1.3 Propagación de Incendios en Superficies Inclinadas.

En la Figura 5.8.1.3 se representa el flujo a contracorriente y concordante en superficies con diversas inclinaciones. Los incendios sobre superficies con pendiente, tales como rampas y paredes combustibles inclinadas o escaleras, demuestran los efectos de la propagación de las llamas en dirección concordante al flujo (ver Figura 5.8.1.3). La mayoría de estas construcciones en rampa o escaleras poseen una inclinación entre 30 a 50 grados respecto a la horizontal. La propagación del incendio en pendiente es un efecto combinado entre el precalentamiento de la superficie combustible encima de la llama, por los mecanismos de conducción, convección y radiación, y el efecto radiante que aumenta exponencialmente sobre dicha superficie por la entrada de aire.



**FIGURA 5.8.1.3** Interacción entre la Llama y el Combustible en la Propagación a Diferentes Ángulos de Inclinación. A Contracorriente: -90 grados, -45 grados, 0 grados; Flujo Concordante: +45 grados +90 grados.

# **5.9\* Propagación del Incendio en un Recinto Cerrado.**

**5.9.2 Propagación del Incendio.** La propagación del incendio, a diferencia de propagación de las llamas, implica la ignición de otros elementos combustibles alejados. Estos pueden encontrarse en el mismo recinto o en uno adyacente. El incendio puede propagarse por un impacto directo de las llamas o por ignición remota de los combustibles adyacentes.



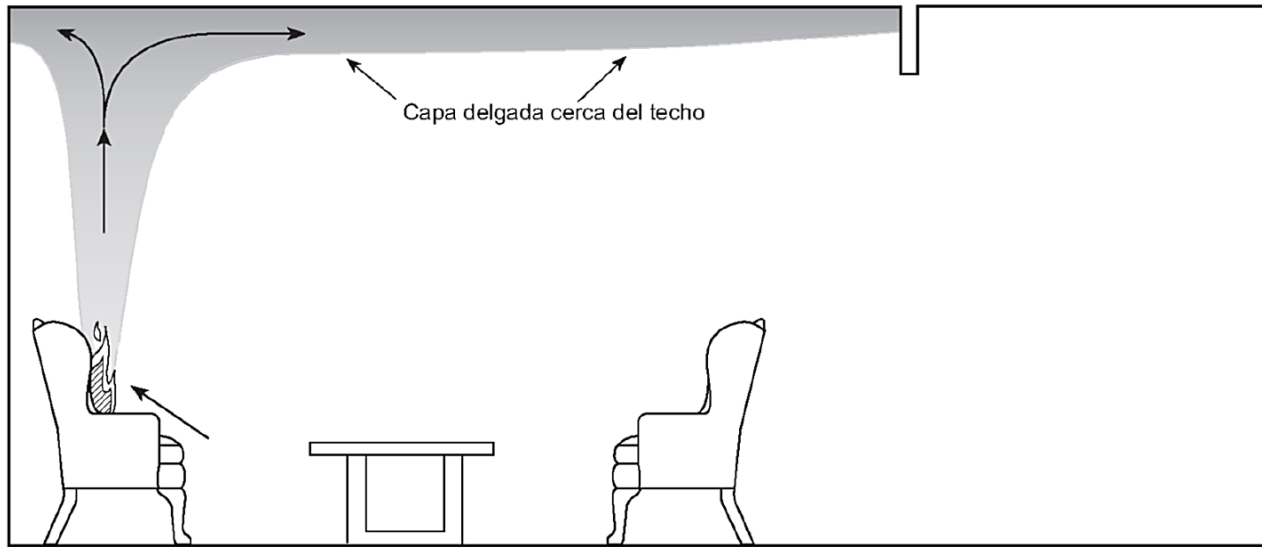
# 5.10 Desarrollo del Incendio en un Recinto.

# FLASHOVER

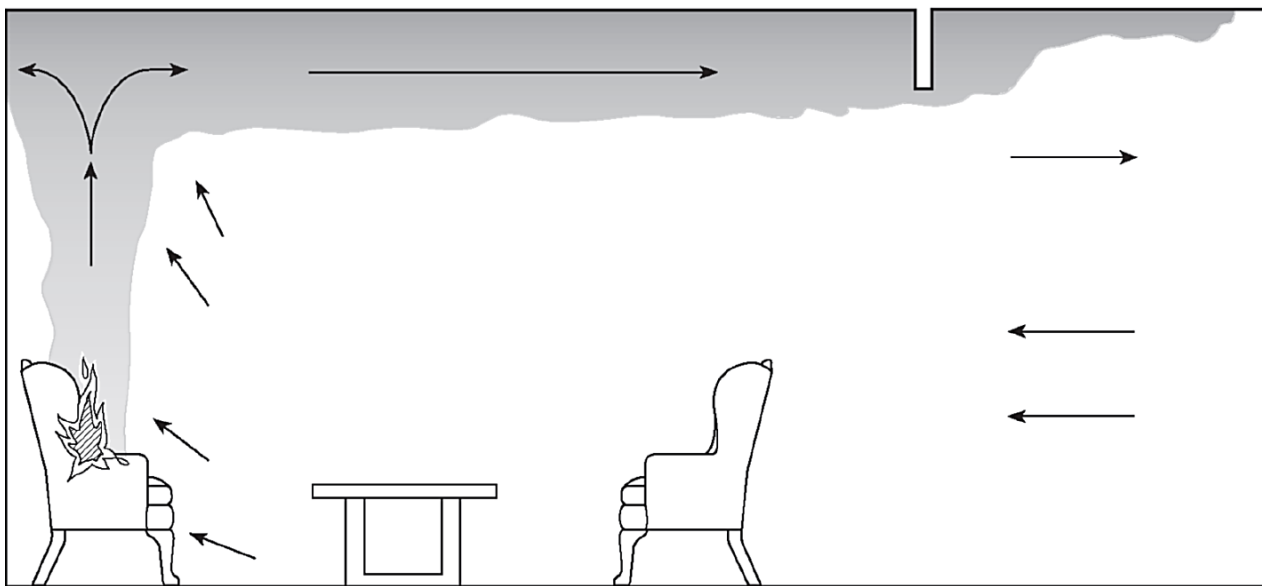
**Definición NFPA 3.3.93 Combustión súbita generalizada (“flashover”).**

Fase de transición en el desarrollo de un incendio en un recinto cerrado en la cual las superficies expuestas a la radiación térmica alcanzan su temperatura de ignición más o menos simultáneamente, lo que hace que el fuego se generalice rápidamente en todo el recinto.





**FIGURA 5.10.2.1** Desarrollo Inicial del Incendio en un Recinto.



**FIGURA 5.10.2.3** Desarrollo de la Capa Superior en el Incendio en un Recinto.

## COMBUSTIÓN SÚBITA GENERALIZADA O FLASHOVER

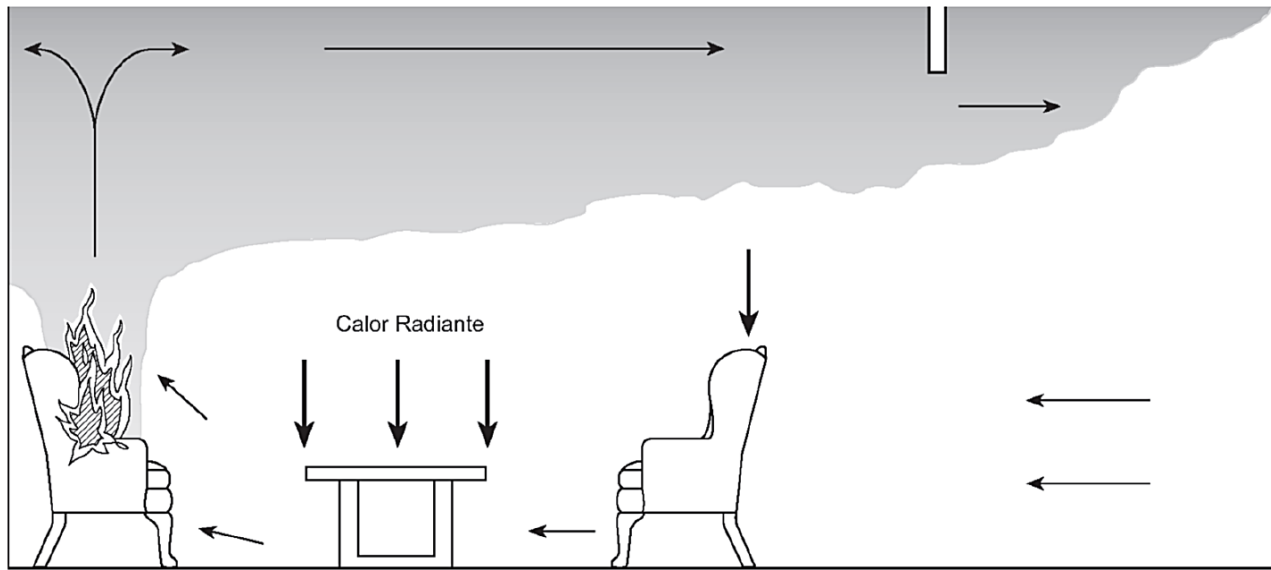


FIGURA 5.10.2.4 Condiciones Previas a la Combustión Súbita Generalizada en un Recinto (Flashover).

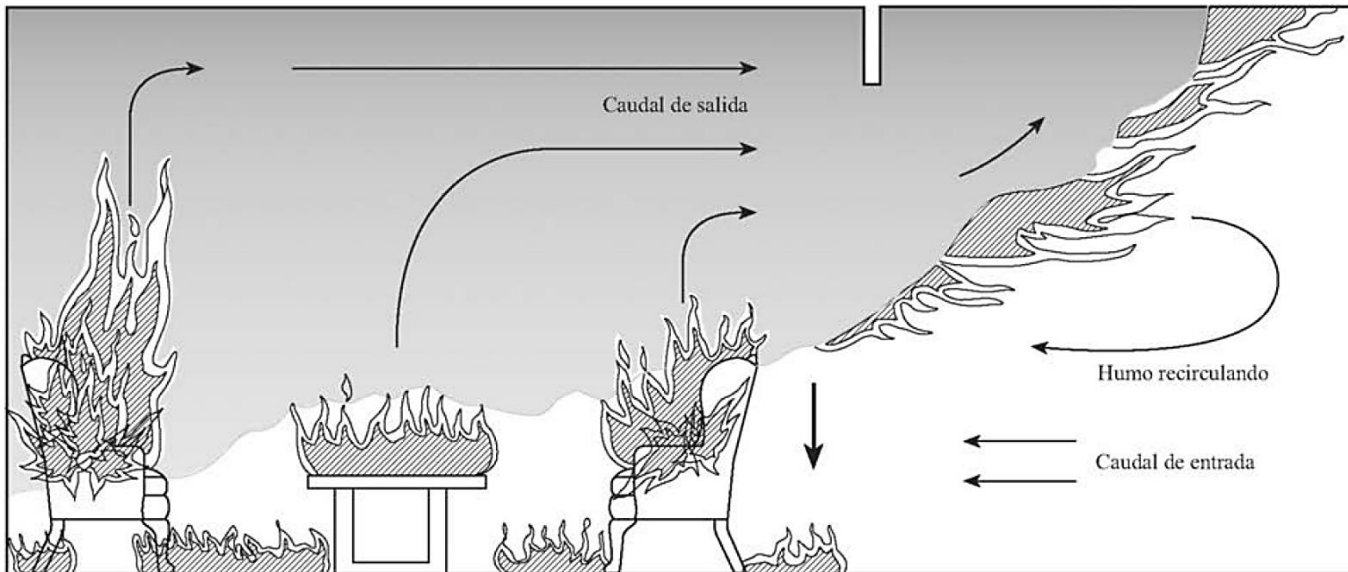


FIGURA 5.10.2.6 Condiciones de Combustión Súbita Generalizada en un Recinto (Flashover).

## COMBUSTIÓN SÚBITA GENERALIZADA O FLASHOVER

## COMBUSTIÓN SÚBITA GENERALIZADA O FLASHOVER

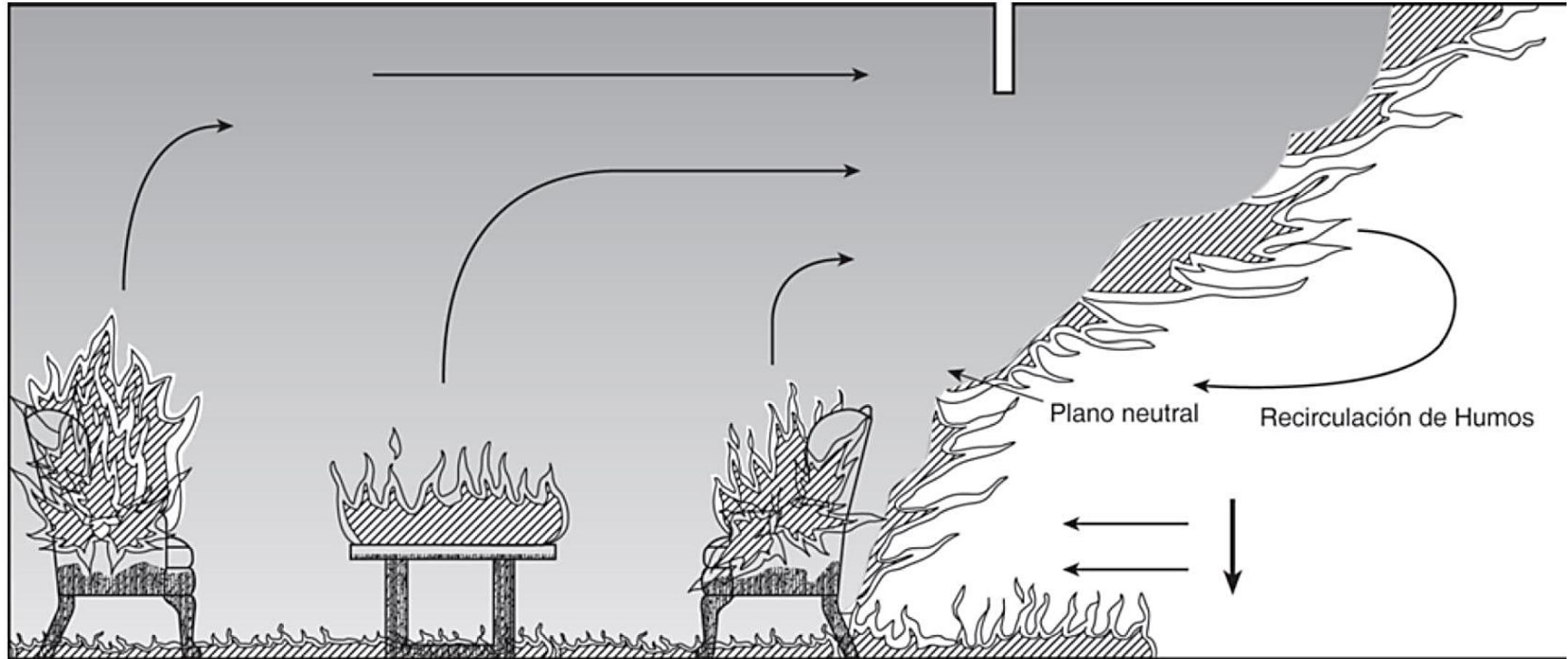


FIGURA 5.10.2.7 Post-Flashover o Extensión del Fuego a toda la Habitación en un Recinto Cerrado

# PLANO NEUTRO



# 5.11 Propagación del Incendio entre Recintos.



**5.11 Propagación del Incendio entre Recintos.** La propagación de un incendio entre recintos puede ocurrir a través de las aberturas que los conectan o de las barreras (muros o techos) que los separan.

**5.11.1 Propagación del Incendio a Través de Aberturas.** Esta propagación puede efectuarse por varios mecanismos:

- (1) Contacto directo de una llama desde la abertura del recinto afectado a los combustibles del otro recinto.
- (2) Ignición de los combustibles del recinto secundario debido a la radiación emitida desde la abertura del recinto incendiado y desde la capa de gases formada por el flujo de gases que se introduce desde el recinto incendiado.
- (3) Ignición de los combustibles del recinto secundario debido a las ascuas ó pavesas transportadas por al abertura desde el recinto incendiado.

## **5.12 Trayectorias de Propagación del Humo en Edificios.**

**5.12 Trayectorias de Propagación del Humo en Edificios.** El flujo de gases a través de una abertura es consecuencia de las diferencias de presión. De esta forma, los humos pueden desplazarse por puertas, ventanas y otras aberturas. Puesto que ningún recinto está sellado herméticamente, existen huecos por los que el humo puede fugar a otros recintos. Los espacios libres sobre los falsos techos, son también recorridos importantes en la propagación del humo. El calor del incendio puede ocasionar un movimiento de humos por diferencias de temperaturas. En los edificios de altura, el humo alejado del incendio puede estar a temperatura ambiente, pero puede desplazarse debido al “efecto chimenea” del edificio. Las presiones ejercidas por el efecto chimenea se deben a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio. Las presiones generadas por los sistemas de climatización pueden también transportar el humo de un recinto a otro.

# Explosiones

## EXPLOSIONES (o combustiones rápidas)

Velocidad del frente de llama de 1 m/s a 340 m/s

**3.3.58 Explosión.** Conversión instantánea de la energía potencial (química o mecánica) en energía cinética con la consiguiente producción y liberación de gases a presión o liberación de un gas que estaba a presión. Estos gases a presión realizan un trabajo mecánico, como mover, cambiar o empujar los materiales que hay alrededor.

**3.3.60 Explosivo.** Mezcla, compuesto químico o dispositivo que funciona por explosión.

**3.3.61 Material Explosivo.** Cualquier material que pueda actuar como combustible de una explosión.

**22.1.3 Definición de explosión.** Para las investigaciones de incendios y explosiones, una explosión es la conversión repentina de energía potencial (química o mecánica) en energía cinética con la producción y liberación de gas(es) bajo presión. Estos gases luego realizan un trabajo mecánico, como derrotar a su recipiente de confinamiento o mover, cambiar o romper materiales cercanos.

**22.1.4** Aunque una explosión casi siempre viene acompañada por la producción de un ruido fuerte, el ruido en sí no es un elemento esencial en la definición de una explosión. La generación y el escape violento de gases son los criterios principales que definen una explosión.

**22.2\* Tipos de Explosiones.** Hay dos tipos principales de explosiones a las que se aplica la investigación corriente: mecánicas y químicas. Dentro de éstas hay varios subtipos. Las explosiones se distinguen por la fuente o el mecanismo mediante el que se producen las presiones explosivas.

**22.2.1 Explosiones Mecánicas.** Las explosiones mecánicas son aquellas en las que un gas a alta presión produce una reacción exclusivamente física. Esa reacción no supone cambios en la naturaleza química básica de la sustancia que hay en el recipiente. Una explosión puramente mecánica es la rotura de una bombona de gas o de un depósito a alta presión, que produce la liberación del gas o vapor almacenado a alta presión, que puede ser aire comprimido, dióxido de carbono, oxígeno vapor.



**22.2.2\* BLEVES.** La explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición (BLEVE) es la explosión mecánica con la que se encontrará más a menudo el investigador. Son explosiones mecánicas, que afectan a recipientes que contienen líquidos a presión a una temperatura superior a su punto de ebullición a la presión atmosférica. El líquido no tiene por qué ser inflamable. Este es un subtipo de explosión mecánica, tan corriente, que la vamos a tratar aquí en una sección aparte. Se puede producir el BLEVE en recipientes tan pequeños como los mecheros desechables o los aerosoles, o tan grandes como camiones cisterna o depósitos industriales.

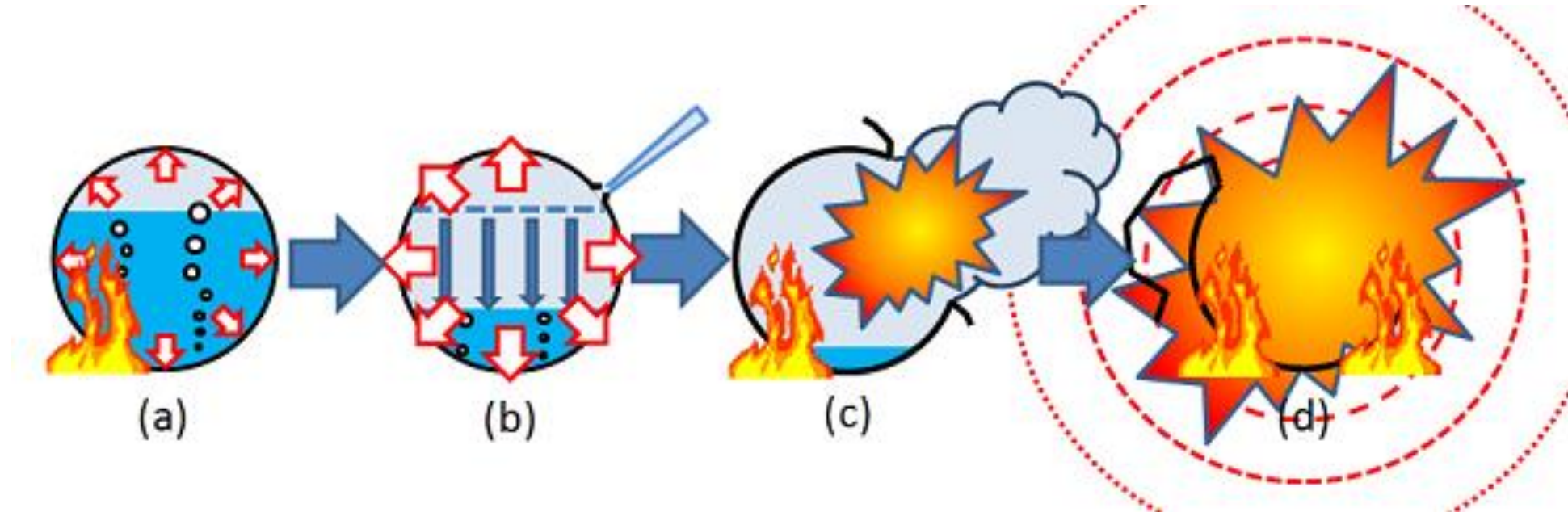


**FIGURA 23.2.2.1** Una Bombona de Gas que ha sufrido un BLEVE por estar expuesto a un Fuego Externo.

## BLEVE

### 3.3.21 BLEVE.

Explosión de los vapores en expansión de un líquido en ebullición.



**22.2.2.1** El BLEVE se produce cuando la temperatura del líquido y el vapor que hay en un depósito o recipiente cerrado, se eleva hasta un punto en que el recipiente ya no soporta el aumento de presión interna y explota. La rotura del recipiente hace que salga el líquido a presión, que se evapora casi inmediatamente. Si el contenido del recipiente es combustible, casi siempre se produce un incendio. Si no es combustible, existirá BLEVE pero no se quemarán los vapores. La ignición se produce normalmente a causa del calor externo originado por el BLEVE o por alguna fuente eléctrica o de rozamiento creado por la explosión o la metralla.

**22.2.2.2** También se puede producir por la pérdida de resistencia del contenedor como resultado de daños mecánicos o calentamiento localizado sobre el nivel del líquido. La ruptura del continente libera el líquido presurizado, que se vaporiza casi instantáneamente. Un ejemplo corriente de BLEVE en la que no participan líquidos inflamables, es la explosión de una caldera de vapor. El aumento de presión se debería al vapor creado por el agua que se calienta y evapora. Cuando la presión del vapor no puede ser contenida por la caldera, el recipiente se rompe y se produce la explosión. No hay combustión química ni reacción nuclear. El vapor a presión es la fuente de energía. La naturaleza química del agua ( $H_2O$ ) no cambia.

### 22.2.3\* Explosiones Químicas.

**22.2.3.1** En las explosiones químicas, la generación de gases a alta presión es el resultado de las reacciones exotérmicas que hacen cambiar la naturaleza química del combustible. Las reacciones químicas que se producen como resultado de explosiones se suelen propagar en un frente de reacción que se desplaza a partir del punto de la explosión.

**22.2.3.1.1 Combustión Explosiva.** La más común de las explosiones químicas es la producida por la combustión de hidrocarburos. Estas son las combustiones explosivas y se caracterizan frecuentemente por la presencia de un combustible y de aire como oxidante. Una combustión explosiva también puede producirse en presencia de polvo. En las combustiones explosivas, la sobrepresión se crea por el rápido incremento de volumen de los productos de la combustión del combustible.



**FIGURA 23.2.2.3** Un Vagón Cisterna con Butadieno que ha Sufrido un BLEVE por el Calor creado por una Reacción Química Interna.

## COMBUSTIONES LENTAS

Velocidad del frente de llama menor a 1 m/s



**3.3.35 Combustión.** Proceso químico de oxidación que se produce a una velocidad suficiente para producir calor y luz, en forma de resplandor o de llama.



## DEFLAGRACIONES

Velocidad del frente de llama de 1 m/s a 340 m/s

**3.3.44 Deflagración.** Reacción de combustión en la que la velocidad del frente de reacción a través del medio combustible que no ha reaccionado, es menor que la velocidad del sonido [68, 2018]



## DETONACIONES

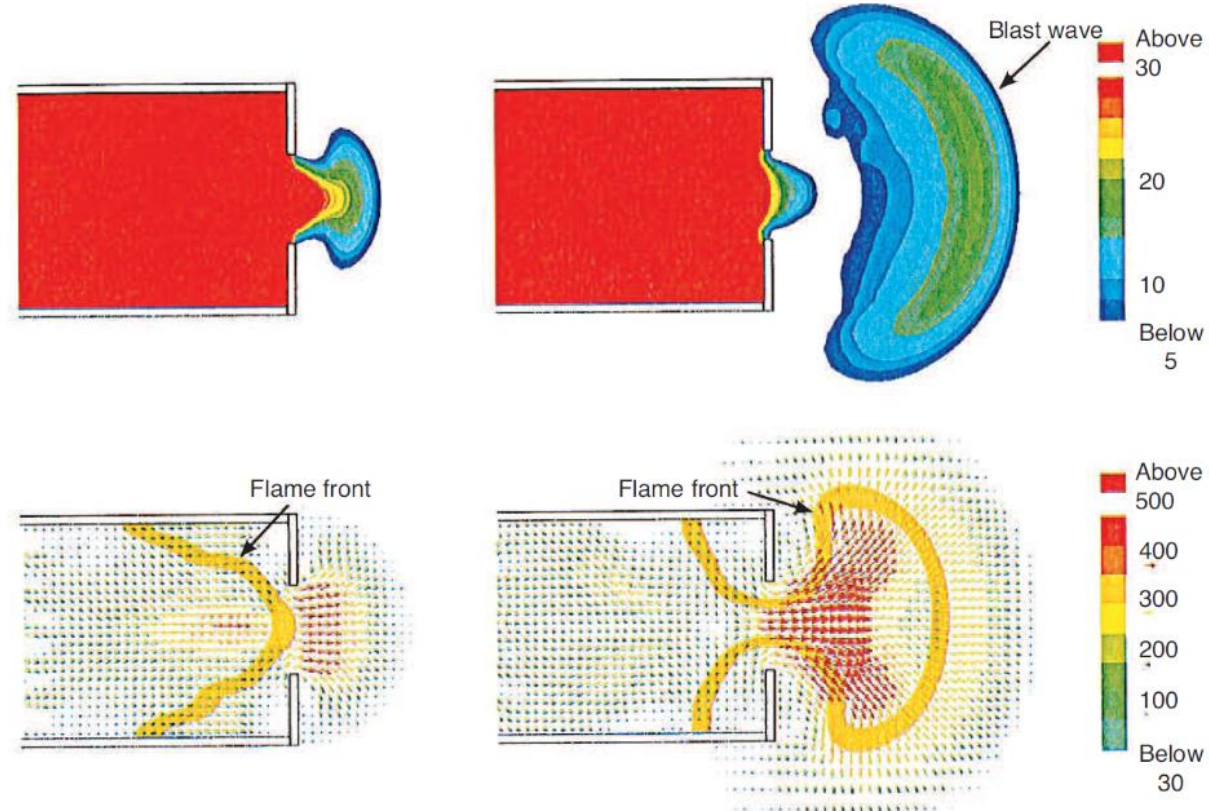
### Velocidad del frente de llama superior a 340 m/s

**3.3.47 Detonación.** Reacción en la que la velocidad del frente de reacción a través del medio combustible que no ha reaccionado, es igual o superior a la velocidad del sonido [68, 2018]

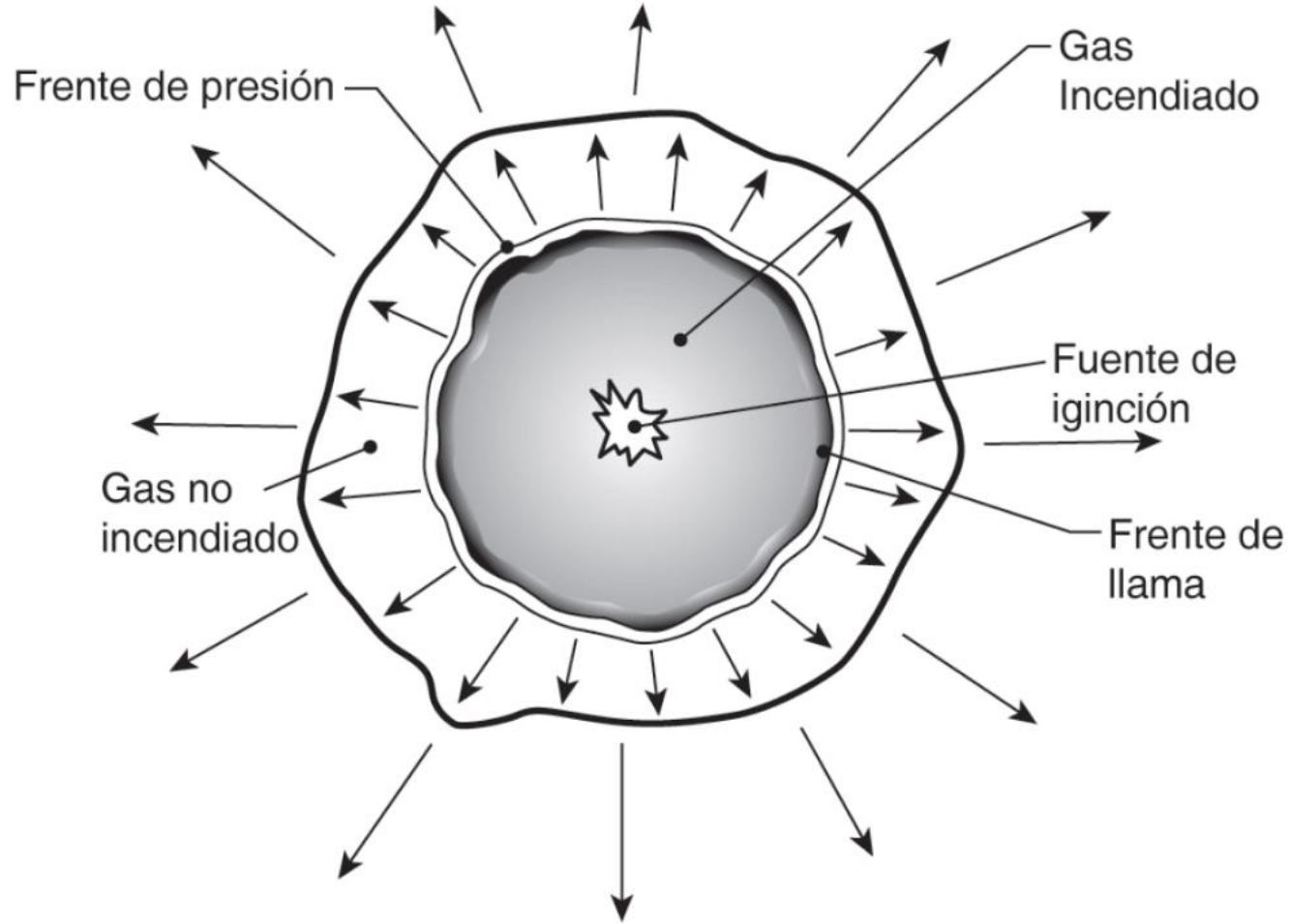
**3.3.112 Explosivo de gran potencia.** Material capaz de mantener un frente de reacción que se mueve a través de un material que no reacciona a una velocidad igual o superior a la del sonido en ese medio [normalmente 1000 m/sec (3300 ft/sec)]; material capaz de producir una detonación.



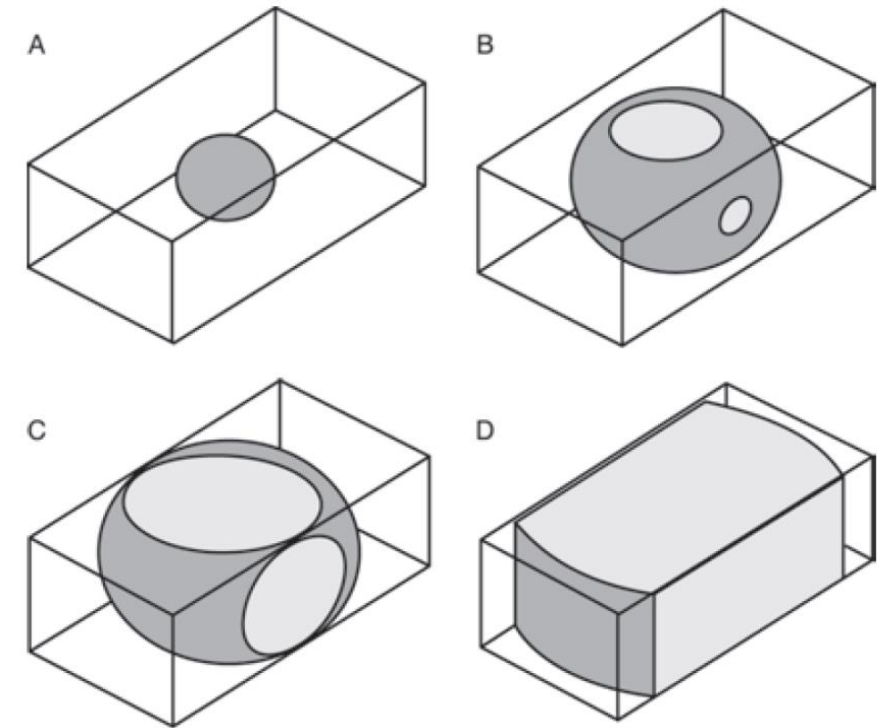
**22.4 Efectos de las Explosiones.** Una explosión es un fenómeno de dinámica de gases que, en condiciones teóricas ideales, se manifiesta como un frente esférico en expansión de ondas de calor y presión. Esas ondas producen los daños característicos de las explosiones. Los efectos de las explosiones se producen en cuatro formas principales: efecto de la onda expansiva de la explosión, efecto metralla, efecto del calor y efecto sísmico.







**FIGURA 22.4.1.4(a)** Idealización de la propagación de la llama y los frentes de choque [de Harris (1983) p.3]



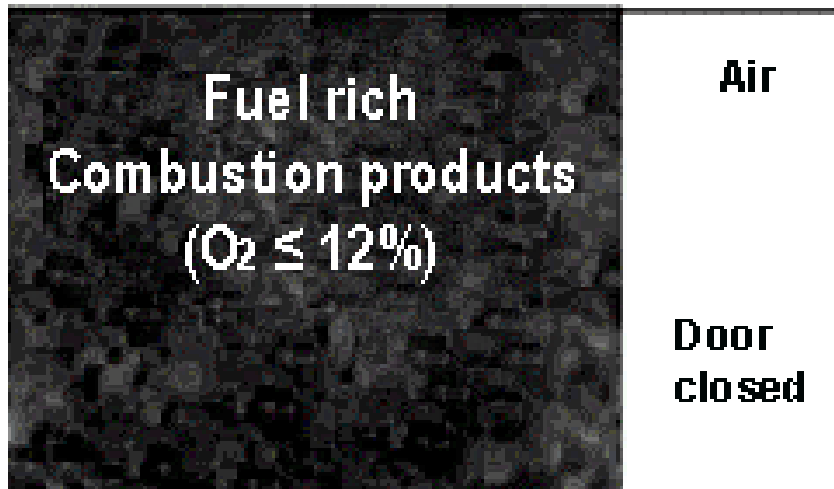
**FIGURA 22.4.1.4 (b)** Idealización del frente de llama en un recipiente cúbico (de Harris, 1983)

# BACKDRAFT

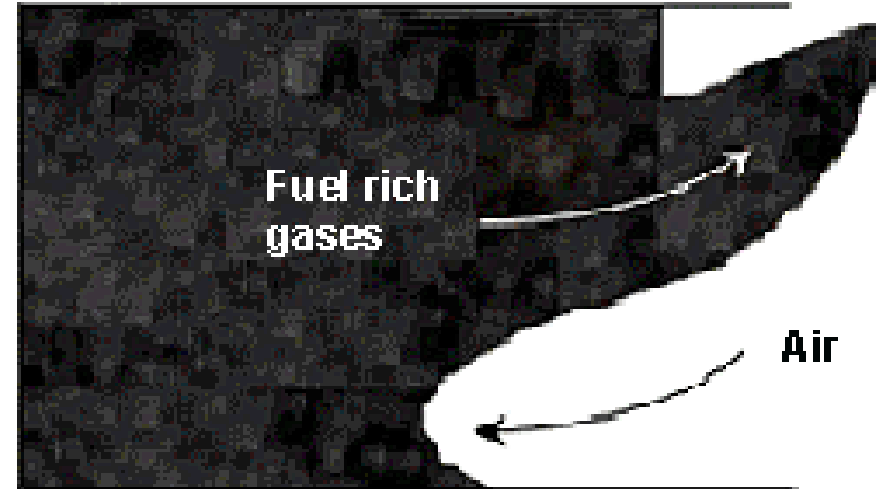
**“Es la explosión o combustión rápida de gases calientes que ocurre cuando el oxígeno se introduce en un recinto que no ha sido ventilado apropiadamente y tiene un agotado suministro de oxígeno debido a un fuego”**



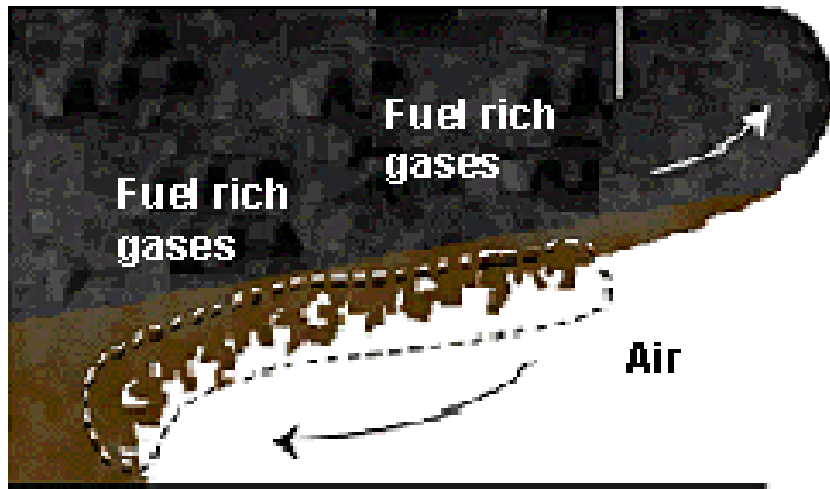
## Evolución del BACKDRAFT



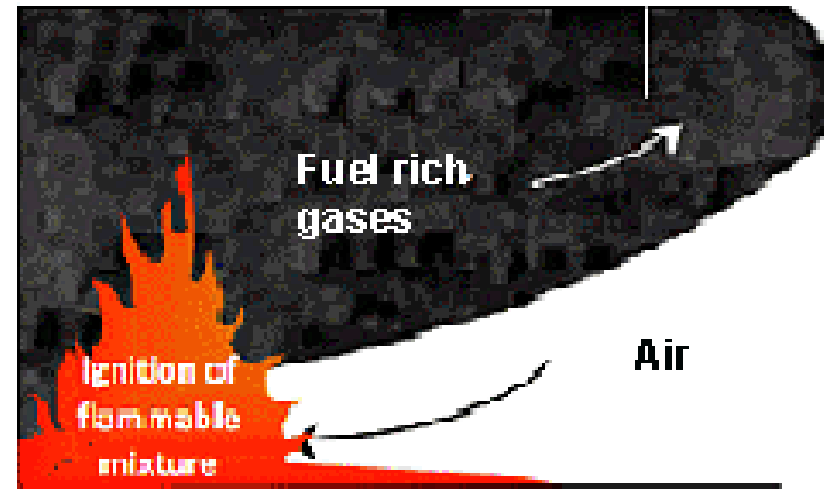
1



2

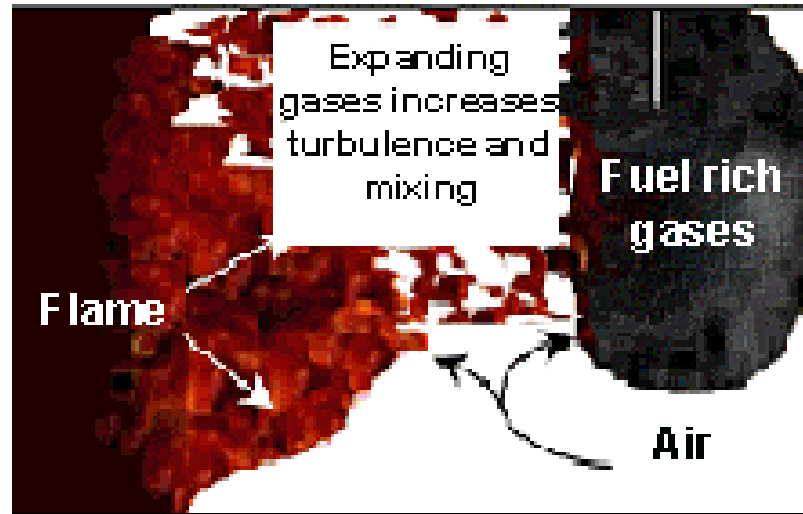


3

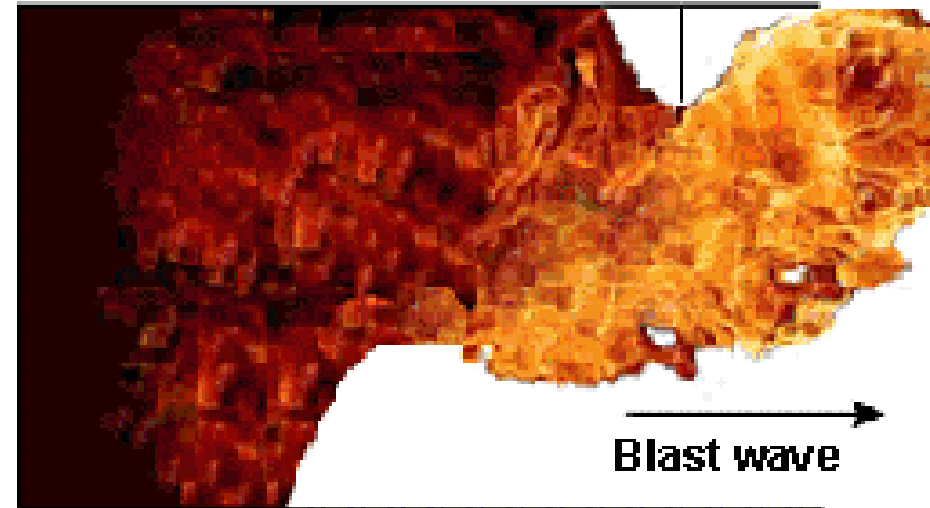


4

## Evolución del BACKDRAFT



5



6

# Evolución del BACKDRAFT





## ¿PODRÍAMOS HABLAR DE TEMPERATURAS?



FIN

