



# Ejemplo de sistemas con balances de materia: CALDERAS

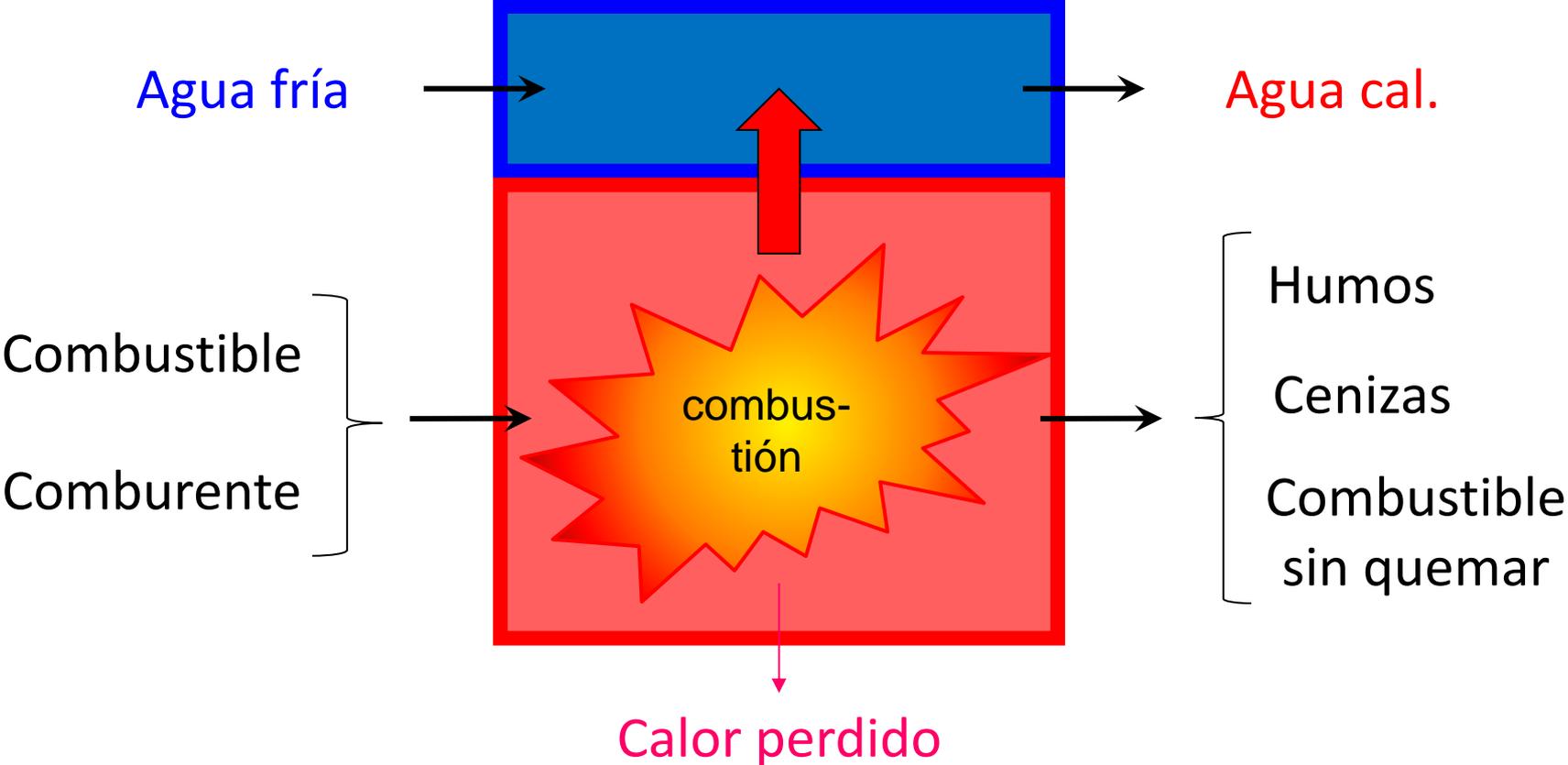
# Algunos conceptos

- Una parte importante del diseño de procesos es el diseño de los servicios auxiliares.
- En este sentido, las necesidades de calor en la industria se cubren en gran parte utilizando fluidos calientes, entre los que se destacan el vapor o agua caliente (dependiendo de las necesidades de cada proceso).
- Para generar vapor o agua caliente, se emplean **calderas**.

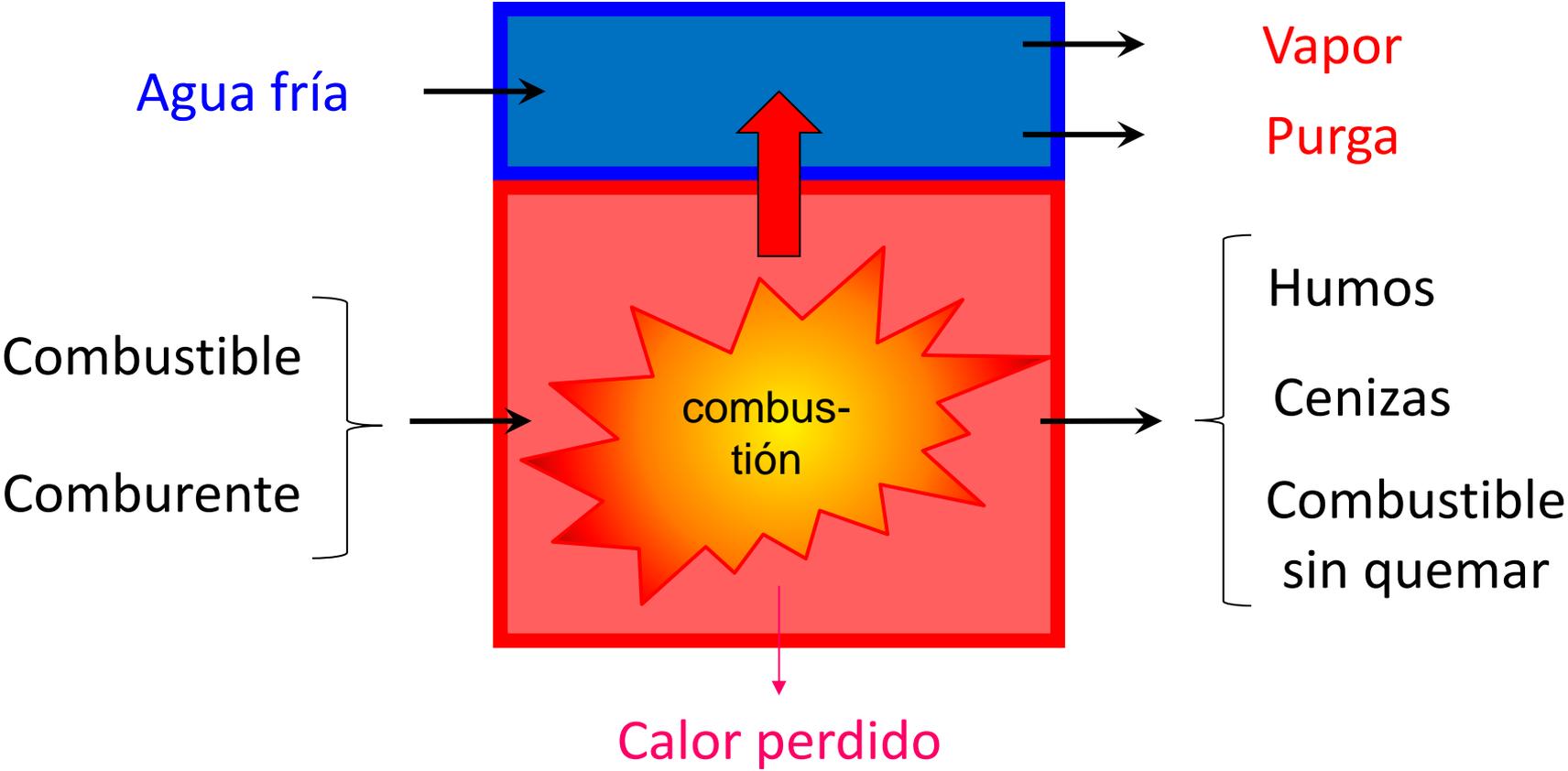
# Calderas

- Equipo en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor
- Generadores de vapor: el fluido intermediario es agua, la cual se evapora en la caldera
- Caldera con fluidos térmicos: el fluido acumula calor sensible pero no cambia de fase en la caldera (el más difundido, agua).

CALDERA  
INDUSTRIAL  
(caliente agua)

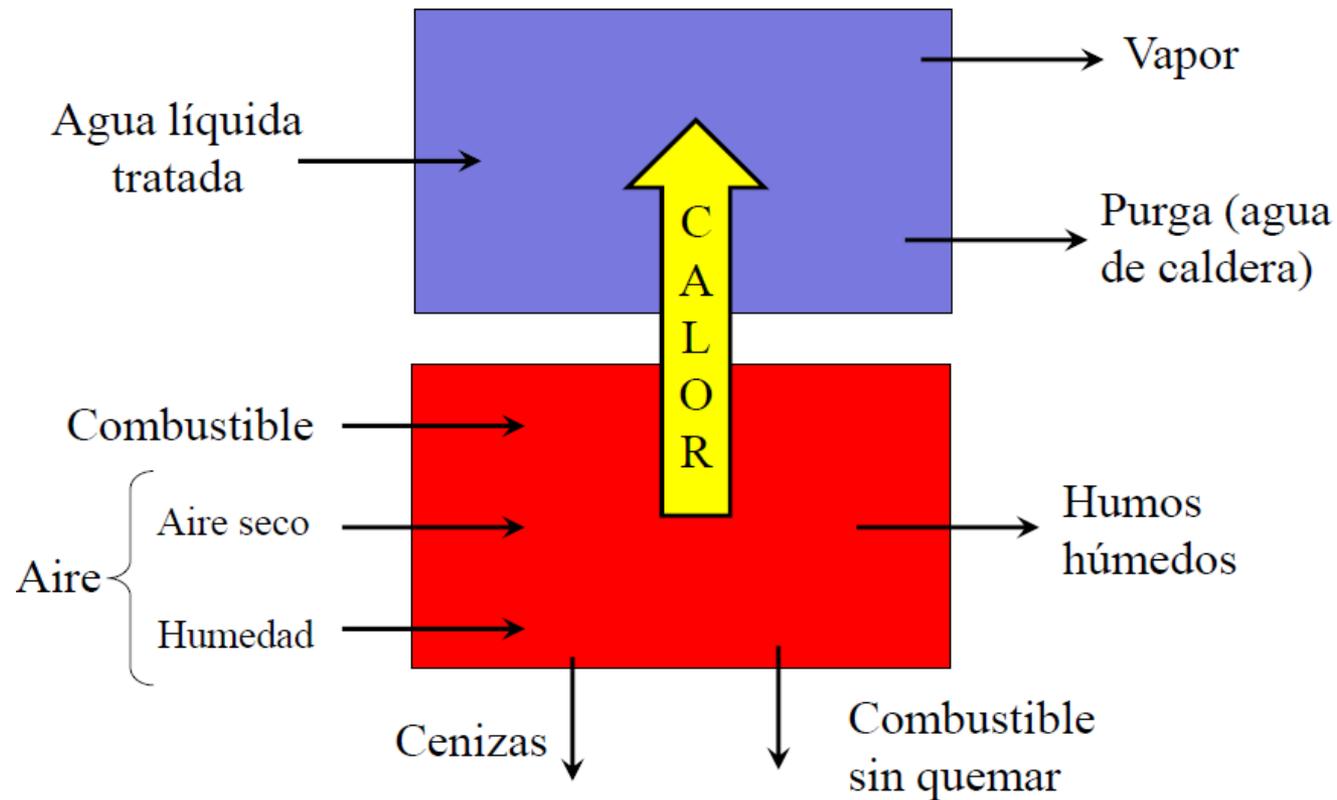


CALDERA INDUSTRIAL  
(genera vapor)



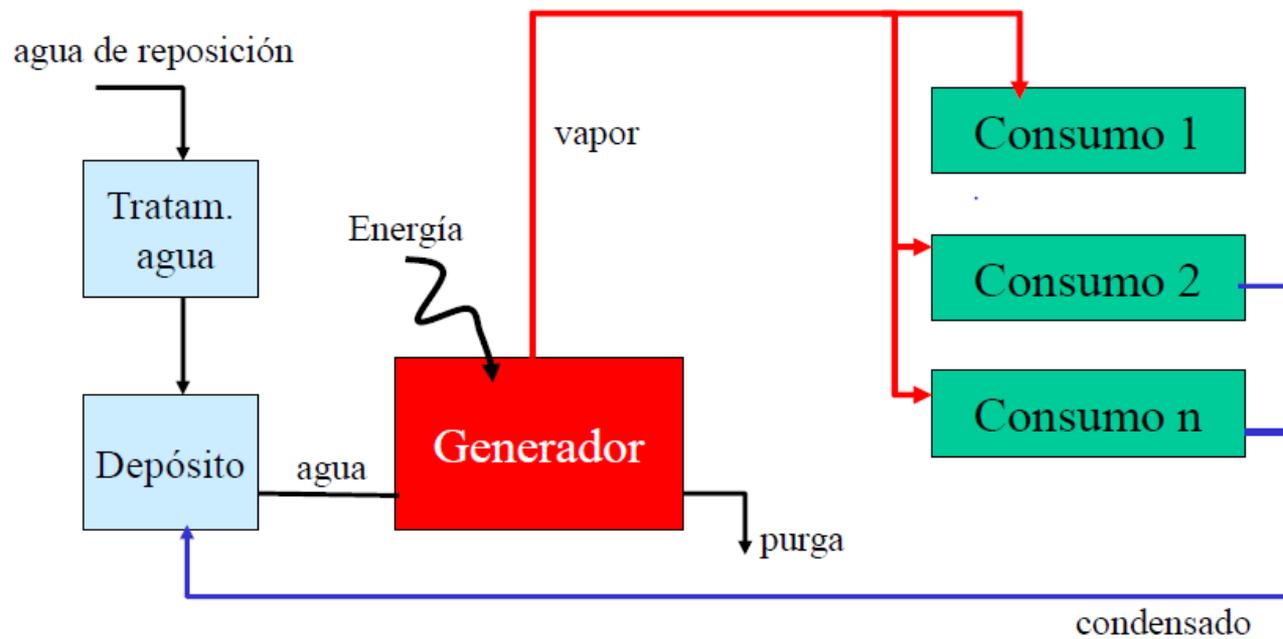
## Generación por Combustión

---



## Ejemplo Circuito agua-vapor

---



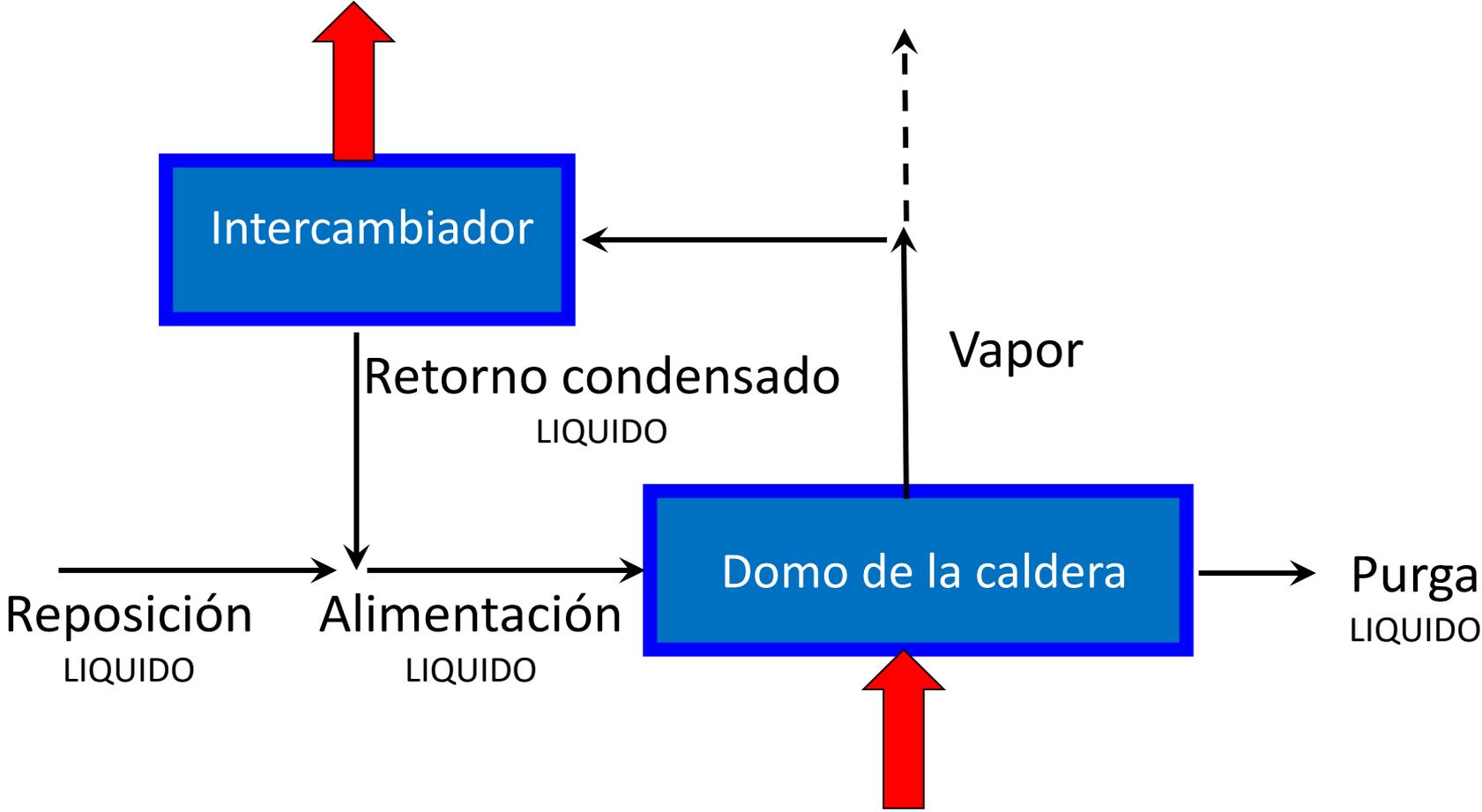
# Purga

- El agua que se repone a la caldera no es pura (aunque si tratada).
- El vapor no contiene sólidos (suspendidos o disueltos), con excepción del arrastre.

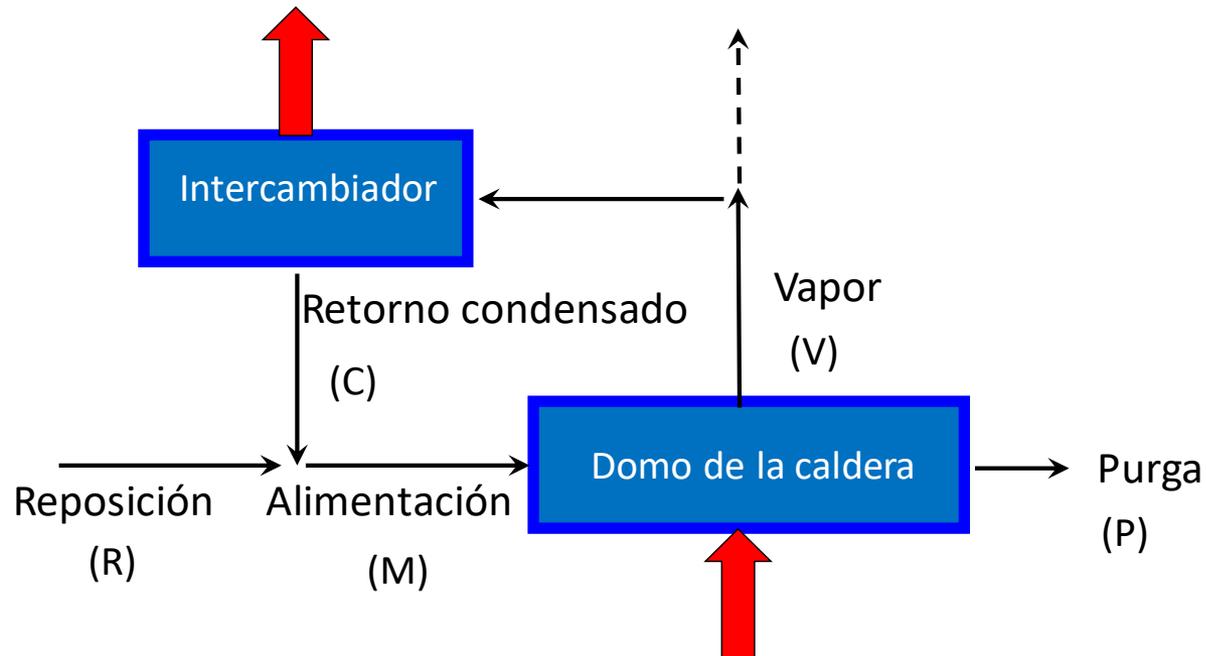
Arrastre: gotas de líquido arrastradas con la corriente de vapor que sale de la caldera

- Para evitar que estos compuestos se acumulen en la caldera es necesario retirar parte del agua del domo (purga).
- La purga es líquido saturado a la presión de trabajo de la caldera.

# CIRCUITO DE AGUA



# BM: CIRCUITO DE AGUA



En estado estacionario:

$$R + C = M = V + P$$

Sólidos Disueltos (SD):

$$R \cdot X_{SD,R} = P \cdot X_{SD,P}$$

# Combustión

- Calderas de uso industrial usan como fuente de energía la combustión.
- La combustión es un proceso altamente exotérmico en el que ocurre la oxidación a alta velocidad de ciertos materiales (combustibles) con un comburente.
- Se genera una cantidad importante de gases a elevada temperatura.
- Importante emisión de energía radiante

# Tipo de combustibles

**Sólidos:** madera, carbón, biomasa

**Líquidos:** derivados de petróleo (fuel oil, gas oil, naftas, kerosene)

**Gaseosos:** gas natural, derivados de petróleo (propano/butano), biogas, hidrógeno

# Humos

- Están compuestos por todo lo que sale del quemador en fase gaseosa
  - Productos de combustión
  - Exceso de reactivos gaseosos
  - Nitrógeno
  - Humedad, tanto del combustible como del aire alimentado
- Su composición puede expresarse tanto en **base húmeda** como en **base seca**.

La combustión en general no es perfecta:

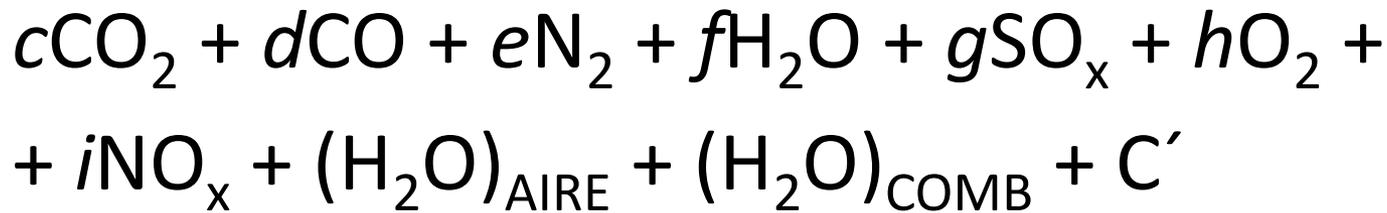
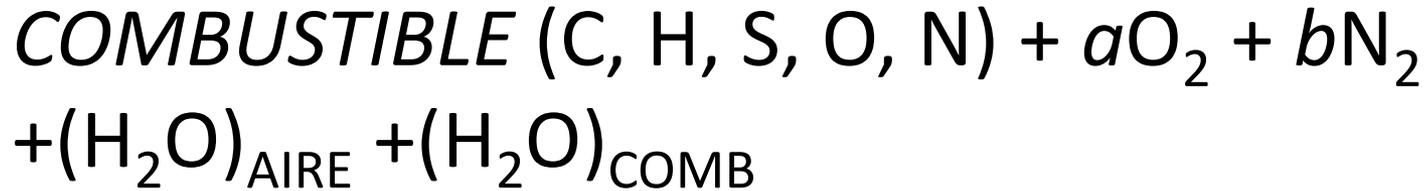
- no todo el C pasa a  $\text{CO}_2$  , queda CO en los humos
- queda combustible sin quemar
- se trabaja con aire en exceso

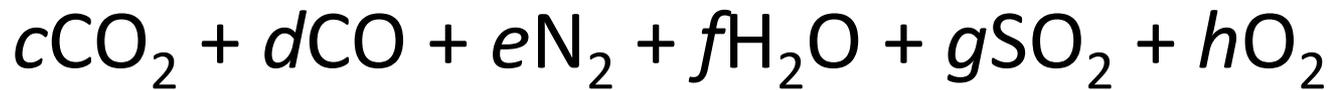
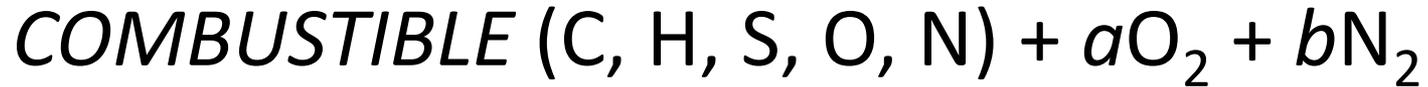
Resulta un proceso sumamente ineficiente con respecto a la combustión teórica.

Para lograr una buena (aceptable) combustión se requiere:

- Exceso de aire
- Buena mezcla entre el combustible y el aire.
- Temperatura correcta.
- Adecuado tiempo de reacción.

# Reacción de combustión





## **AIRE**

a: moles de  $O_2$  en el aire

b: moles de  $N_2$  en el aire

## **COMBUSTIBLE**

C : moles de átomos de carbono en el combustible

H: moles de átomos de hidrógeno en el combustible

S: moles de átomos de azufre en el combustible

N: moles de átomos de nitrógeno en el combustible

O: moles de átomos de oxígeno en el combustible

## **HUMOS**

c: moles de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en los humos

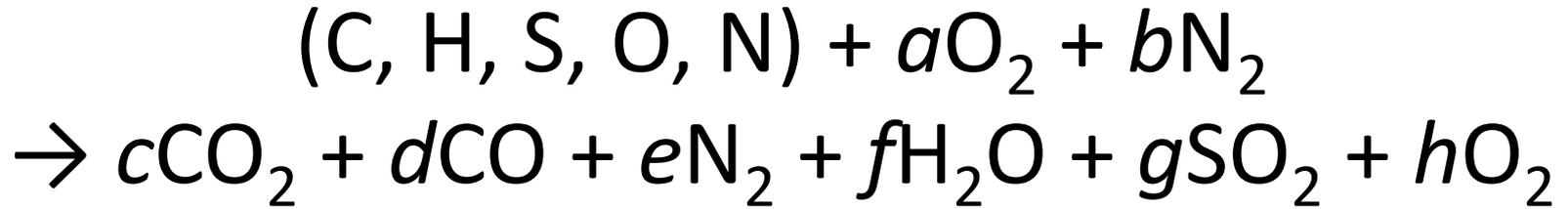
d: moles de monóxido de carbono ( $CO$ ) en los humos

e: moles de nitrógeno ( $N_2$ ) en los humos

f: moles de agua ( $H_2O$ ) en los humos

g: moles de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) en los humos

h: moles de oxígeno ( $O_2$ ) en los humos



- Si se plantean los balances por especie atómica:

$$A = E - S + G - C$$

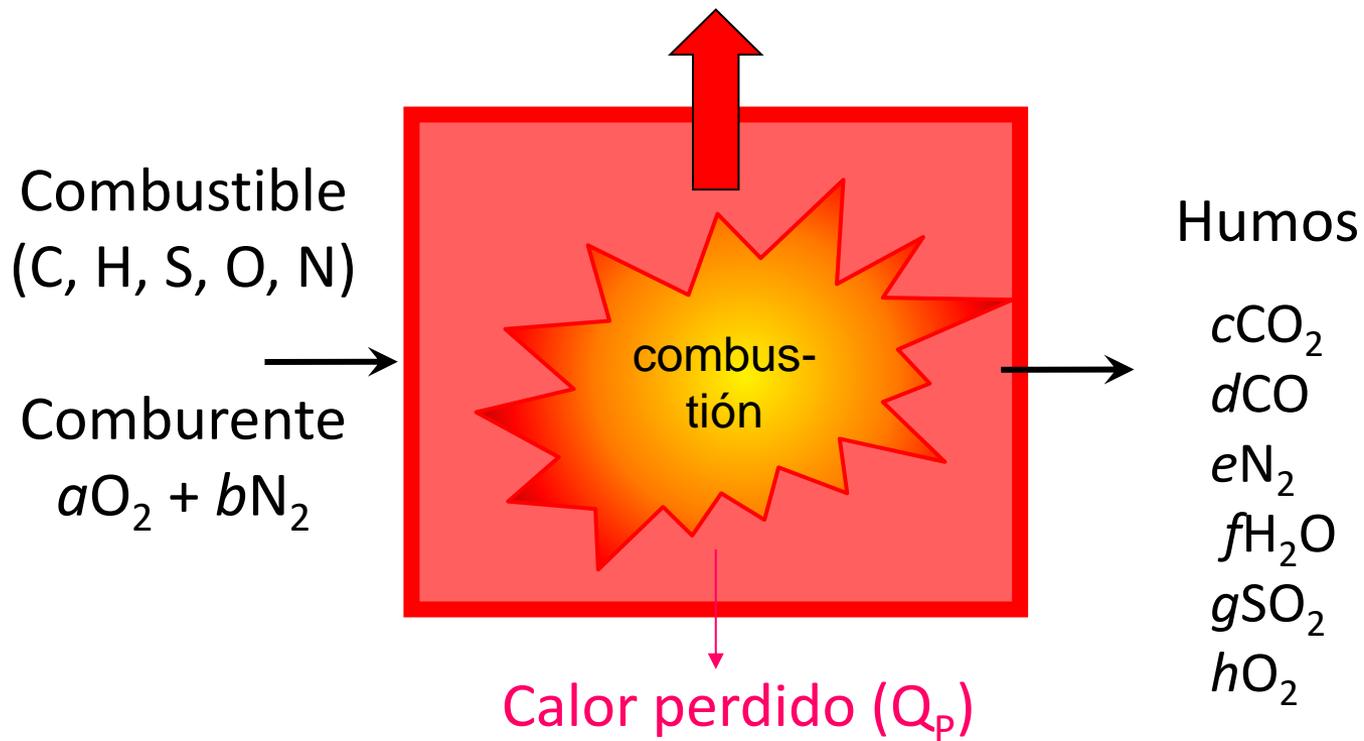
Estado Estacionario       $A = 0$

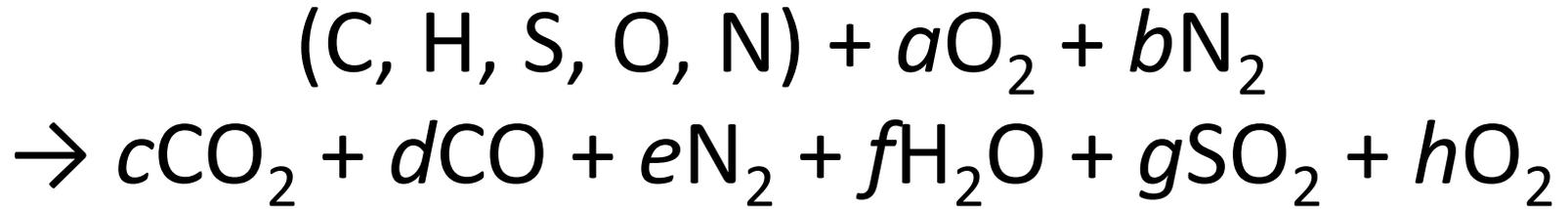
No hay generación       $G = 0$

No hay consumo       $C = 0$

Para cada especie atómica

$$E = S$$





- De la composición del aire:

$$\frac{b}{a} = \frac{79,1}{20,9} = 3,78$$

- Balance de carbono:

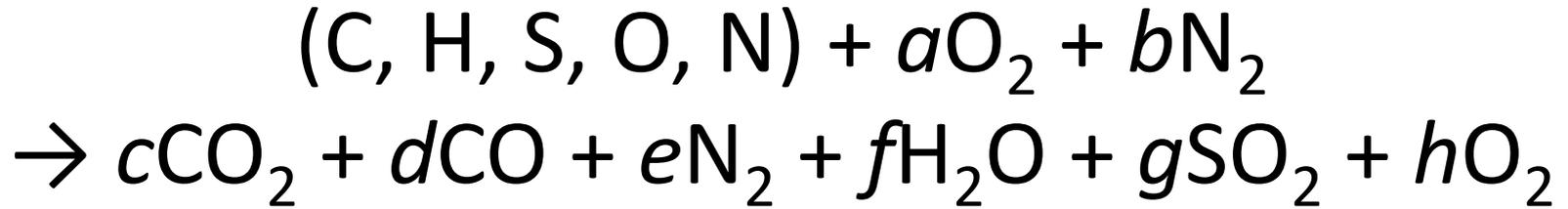
$$C = c + d$$

- Balance de hidrógeno:

$$H = 2f$$

- Balance de azufre:

$$S = g$$



- Balance de nitrógeno:

$$N + 2b = 2e$$

$$N + 2 \cdot 3,78a = 2e$$

- Balance de oxígeno:

$$O + 2a = 2c + d + f + 2g + 2h$$

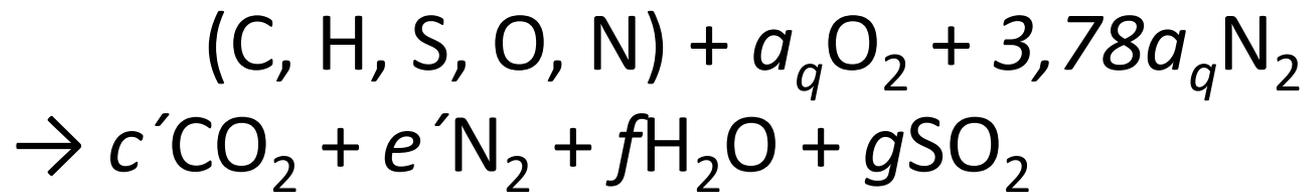
- Exceso de aire:

$$E = \frac{a - a_q}{a_q}$$

$a_q$ : cantidad de oxígeno estequiométrico  
para combustión completa

# Cálculo de oxígeno estequiométrico

- Reacción de combustión completa (solo se forma  $\text{CO}_2$ )



Balance de oxígeno:

$$a_q = c' + f/2 + g - O/2$$