



presenta

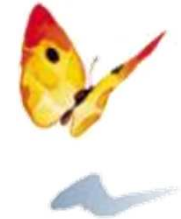
# Jornada sobre **CALDERAS EFICIENTES EN PROCESOS INDUSTRIALES**

## Conceptos de combustión y combustibles

José M. Domínguez Cerdeira  
*Prescripción - Promoción del Gas*  
*Gas Natural Distribución SDG, S.A.*

Madrid, 23 de Enero de 2013

# Combustión y Combustibles



## **Nuestra sociedad se basa en el uso de la energía**

Debemos conocer adecuadamente los procesos de combustión para:

1. **Tener el menor impacto razonablemente posible en el entorno**
2. **Reducir el coste económico de la energía**
3. **Gestionar unos recursos finitos**

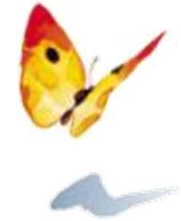
### **Un poco de historia**

- ➔ Desde los albores de los tiempos hemos usado el fuego
- ➔ Siglos XVIII y XIX: **La sociedad de los combustibles sólidos** el uso de carbón y vapor trajo la Primera revolución Industrial
- ➔ Siglo XX: **La sociedad de los combustibles líquidos** el desarrollo del refino y de la generación eléctrica
- ➔ Siglo XXI: **La sociedad de las energías renovables** el desarrollo de las tecnologías que usan el sol y el viento
- ➔ El gas natural, **la energía puente ideal** entre la sociedad actual y la futura de las energías renovables (Agencia Internacional de la Energía)



# Principio de la combustión

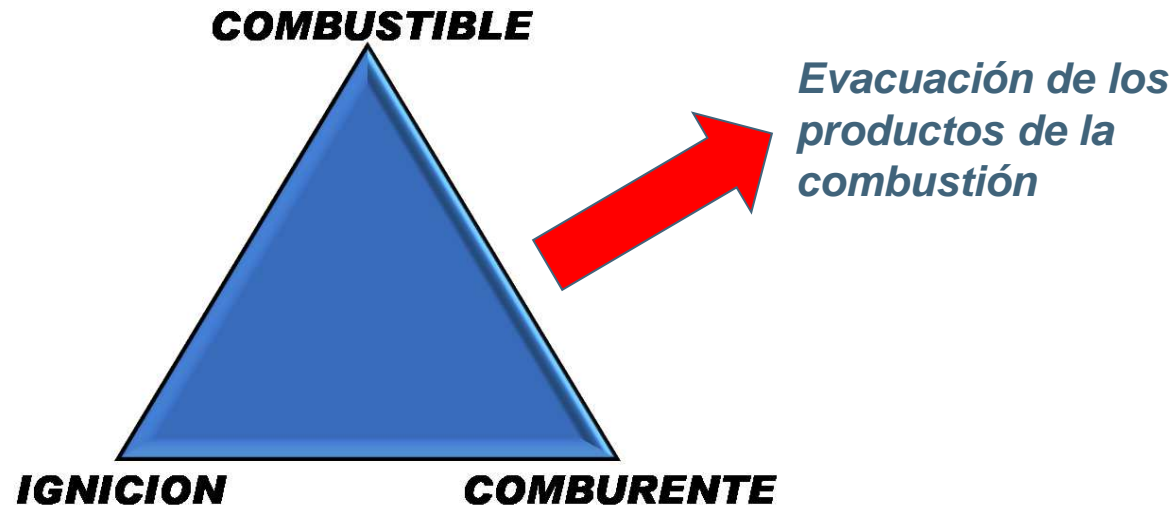
## Triángulo de la combustión



Combustión es el conjunto de procesos físico-químicos en los que un elemento combustible se combina con otro elemento comburente (O<sub>2</sub> gaseoso), desprendiendo luz, calor y productos químicos resultantes de la reacción (oxidación)



**Triángulo de la combustión:**



# Clases de combustión



## **Combustión completa**

*Se oxida completamente el combustible (sin inquemados)*

## **Combustión incompleta**

*No se oxida completamente el combustible (se producen inquemados como el CO)*

## **Combustión estequiométrica**

*Combustión con la cantidad teórica de comburente estrictamente necesaria para la oxidación del combustible aportado*

## **Combustión con exceso de aire**

*Combustión con una cantidad de comburente superior a la estequiométrica*

## **Combustión con defecto de aire**

*Combustión con una cantidad de comburente inferior a la estequiométrica*

# Parámetros de la combustión (I)



**Temperatura de autoinflamación:** Es la temperatura mínima, a presión de una atmósfera, a la que una sustancia en contacto con el aire, arde espontáneamente sin necesidad de una fuente de ignición

**Límites de inflamabilidad:** Son las concentraciones mínimas y máximas del vapor o gas en mezcla con el aire, en las que son inflamables. Se expresan en tanto por ciento en el volumen de mezcla vapor de combustible-aire

**Límite Superior de inflamabilidad (L.S.I.)**

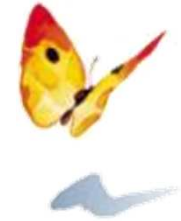
**Límite Inferior de inflamabilidad (L.I.I.)**

**Poder comburívoro:** Es el volumen mínimo de aire seco, medido en condiciones normales ( $T^a = 0^{\circ}\text{C}$  y  $P=1\text{atm}$ ), necesario para la combustión completa y estequiométrica de la unidad de combustible ( $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$  combust)

**Poder fumígeno:** Es el volumen de productos de la combustión ( $\text{Nm}^3$ ) producidos en la combustión estequiométrica de la unidad de combustible. ( $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$  combustible)

COMBUSTIBLE	Poder comburívoro ( $\text{Nm}^3$ aire/kWh Hi)	Poder Fumígeno húmedo ( $\text{Nm}^3$ humos/kWh Hi)	Poder Fumígeno seco ( $\text{Nm}^3$ humos/kWh Hi)
GAS NATURAL	0,96	1,06	0,86
PROPANO COMERCIAL	0,94	1,02	0,86
BUTANO COMERCIAL	0,94	1,02	0,87
GASOLEO C	0,92	0,98	0,87

## Parámetros de la combustión (II)



**Coeficiente de exceso de aire:** Es la relación entre el volumen de aire aplicado a una combustión y el volumen preciso para una combustión estequiométrica. Se representa mediante un número adimensional ( $n$ ) cuyo valor puede ser:

$n = 1$  : Aire preciso para una combustión estequiométrica

$n < 1$  : Defecto de aire, se dice que la mezcla es rica y la combustión incompleta

$n > 1$  : Exceso de aire, se dice que la mezcla es pobre y la combustión puede ser completa

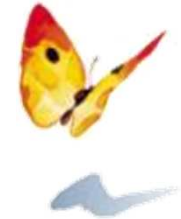
**Rendimiento de la combustión:** Se define como la relación entre el calor útil obtenido ( $Q_{util}$ ) y el calor total que aporta el gas combustible  $Q_{total}$ .

$$\eta = \frac{Q_{util}}{Q_{Total}} \times 100$$

Es decir, la diferencia entre el calor total y el calor útil será el calor perdido en el proceso de combustión, que está formado por:

- ➔ **Pérdidas de calor por radiación** en el entorno
- ➔ **Pérdidas de calor sensible** en los gases quemados.
- ➔ **Pérdidas de calor latente** en el vapor de agua.

# Teoría de la llama



**La llama es el espacio físico donde se produce una reacción de combustión que emite calor y luz**

## ***Características:***

**Temperatura final de la llama:** También se denomina temperatura teórica de combustión o temperatura adiabática de combustión. Es la temperatura que se obtendría en una combustión estequiométrica con mezcla perfectamente homogénea y en un tanque que nos permita evitar cualquier pérdida de calor al exterior

**Temperatura máxima teórica de la llama:** Es la temperatura que se alcanza cuando la cantidad de aire empleada en la combustión es la cantidad estequiométricamente necesaria para ello

**Velocidad de propagación de la llama:** La velocidad de propagación de la llama es la velocidad a la cual se produce la combustión de la mezcla aire-gas que sale por el quemador, y se mide en cm/s. Según va saliendo la mezcla inflamable por la cabeza del quemador, el frente de llama va avanzando y quemando la mezcla.

# Combustibles

## Definición, clasificación y propiedades



**Combustible es cualquier material capaz de liberar energía, en forma de calor, cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente el contenido en el aire, transformando su estructura química**

**SOLIDOS**

**LIQUIDOS**

**GASEOSOS**

### Propiedades

**Poder calorífico:** Es la cantidad de energía (calor) desprendida por una unidad de combustible en su combustión completa, para unas condiciones determinadas de presión y temperatura de los productos que reaccionan y de los productos resultantes (kWh/kg ó kWh/Nm<sup>3</sup>)

**Poder calorífico Superior (H<sub>s</sub>)**

**Poder calorífico Inferior (H<sub>i</sub>)**

- ➔ Los rendimientos de los equipos de las distintas tecnologías están referidos al H<sub>i</sub>
- ➔ La tecnología de condensación permite aprovechar la energía del vapor de agua en los gases de combustión, obteniendo h>100% (sobre H<sub>i</sub>)

COMBUSTIBLE	UNIDAD	H <sub>i</sub>	H <sub>s</sub>
GAS NATURAL	(kWh/kg)	13,05	14,43
PROPANO COMERCIAL	(kWh/kg)	12,82	13,92
BUTANO COMERCIAL	(kWh/kg)	12,69	13,74
GASOLEO C	(kWh/kg)	11,56	12,23



# Combustibles sólidos



## Clasificación:

**Naturales**  
Biomasa / Carbones

**Elaborados**  
Coke (carbón o petróleo)

## Su combustión:

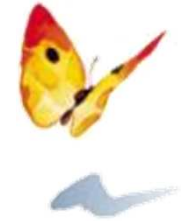
1. **Secado del combustible:** Evaporación de la humedad contenida
2. **Pirólisis:** Descomposición térmica volátiles + materia carbonosa
3. **Combustión de la componente carbonosa**

## Aspectos a considerar en su uso:

1. **Preciso almacenamiento de combustible**
2. **Modulación lenta ante cambios de carga**
3. **Preciso depósito tampón (cortes eléctricos)**
4. **Emisión de contaminantes locales (cenizas)**
5. **Mantenimiento elevado y continuo**
6. **¿Seguridad de precios?**
7. **¿Seguridad de suministro?**



# Combustibles líquidos



## Clasificación:

**Derivados petróleo**  
Gasoleo - Fueloil

**Elaborados**  
Diesel GTL o CTL

**Renovables**  
Biodiesel

## Su combustión:

1. **Precisa pulverización:** Presurizar el combustible
2. **Combustión en superficie gotas:** Vaporización previa
3. **Llama radiante (alta temperatura)**

## Aspectos a considerar en su uso:

1. **Preciso almacenamiento de combustible**
2. **Mantenimiento medio / alto**
3. **Emisión de contaminantes locales ( $SO_x$ ,  $No_x$ )**
4. **Precios elevados y fluctuantes**



# Combustibles gaseosos



**Clasificación:** (UNE-EN-437/2003)

Familia y Grupo de gas	Índice de Wobbe superior a 15°C y 1.013,25 mbar (MJ/m <sup>3</sup> )	
	Mínimo	Máximo
1ª familia (Manufacturado)	22,4	24,8
2ª Familia (Gas natural) • Grupo H	45,7	54,7
3ª Familia (GLP's) • Grupo P (Propano) • Grupo B (Butano)	72,9 81,8	76,8 87,4

## **Un poco de historia:**

- ➔ *El gas manufacturado se utiliza en España desde 1846*
- ➔ *De la “luz de gas” a los usos térmicos en residencial e industrial*
- ➔ *Los GLP's se distribuyen desde 1957*
- ➔ *El gas natural desde 1967 y a Madrid llegó en 1987*
- ➔ *El gas natural ya representa el 24% de la energía consumida en España*



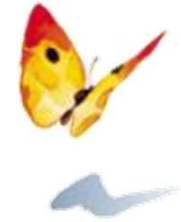
# Combustibles gaseosos

## **Su combustión:**

1. **Llamas de premezcla: Mezcla aire-gas perfecta**
2. **Reducción de temperatura final de llama: Muy baja emisión  $\text{NO}_x$**
3. **Transmisión de calor convectiva (menos radiante)**
4. **Menores pérdidas. (menor  $T^a$  gases quemados)**

## **Aspectos a considerar en su uso:**

1. **NO precisa almacenamiento de combustible**
2. **Mantenimiento bajo (mantiene rendimientos)**
3. **Mínimas emisiones de contaminantes locales ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ )**
4. **Permite la condensación (mayor rendimiento)**
5. **Precios estables y competitivos**
6. **Seguridad de suministro**



# Comparativa entre combustibles



	Respeto al Medioambiente	Coste de energía	Eficiencia	Inversión precisa	Fiabilidad	Mantenimiento
GAS NATURAL	😊	😊	😊	😊	😊	😊
PROPANO	😊	😐	😊	😊	😊	😊
GASOLEO – C	😞	😞	😊	😐	😊	😊
PELLETS	😊	😊	😐	😞	😊	😐
ASTILLAS	😊	😊	😐	😐	😐	😞
CARBON	😞	😊	😞	😐	😐	😞

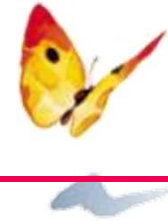


# ***"Avanzar por un Desarrollo Sostenible Y Competitivo"***

## **Muchas gracias**

**José M. Domínguez Cerdeira**  
**[jmdominguez@gasnatural.com](mailto:jmdominguez@gasnatural.com)**





**Esta presentación es propiedad del Grupo Gas Natural.  
Tanto su contenido temático como diseño gráfico es  
para uso exclusivo de su personal.**

©Copyright Gas Natural SDG, S.A.