

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL MENDOZA**

**CATEDRA
“MAQUINAS TERMICAS”**

**CARRERA
INGENIERIA ELECTROMECHANICA**

**CAPITULO Nº 1
PODER CALORIFICO**

**ELABORADO POR: ING. JORGE FELIX FERNANDEZ
PROFESOR TITULAR CATEDRA “MAQUINAS TERMICAS”**

PODER CALORIFICO

Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

Es decir cuando el carbono pase a anhídrido carbónico



UNIDADES

(kcal/kg) ; (kcal/m³) ; (BTU/lb) ; (BTU/pie³)

FORMAS

El poder calorífico de un combustible puede ser:

- 1.- Poder Calorífico Superior (PCS)
- 2.- Poder Calorífico Inferior (PCI)

PODER CALORIFICO SUPERIOR

El **poder calorífico superior** se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0°C y los productos (gases de combustión) son llevados también a 0°C después de la combustión, **por lo que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado.**

Vapor de agua que proviene de:

- a) la humedad propia del combustible y
- b) el agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible.

De esta manera al condensar el vapor de agua contenido en los gases de combustión tendremos un aporte de calor de:

597 kcal / kg vapor de agua condensado

PODER CALORIFICO INFERIOR

El **poder calorífico inferior** considera que el **vapor de agua** contenido en los gases de la combustión **no condensa**.

Por lo tanto no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua.

Solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible, al cual por definición se denomina:

Poder Calorífico Inferior del Combustible

INTERPRETACION GRAFICA DEL PODER CALORIFICO INFERIOR

Para obtener el Poder Calorífico de un combustible es necesario que todo el carbono (C) se oxide en forma completa pasando a anhídrido carbónico (CO₂)



COMBUSTIBLE

AIRE

GASES DE COMBUSTION

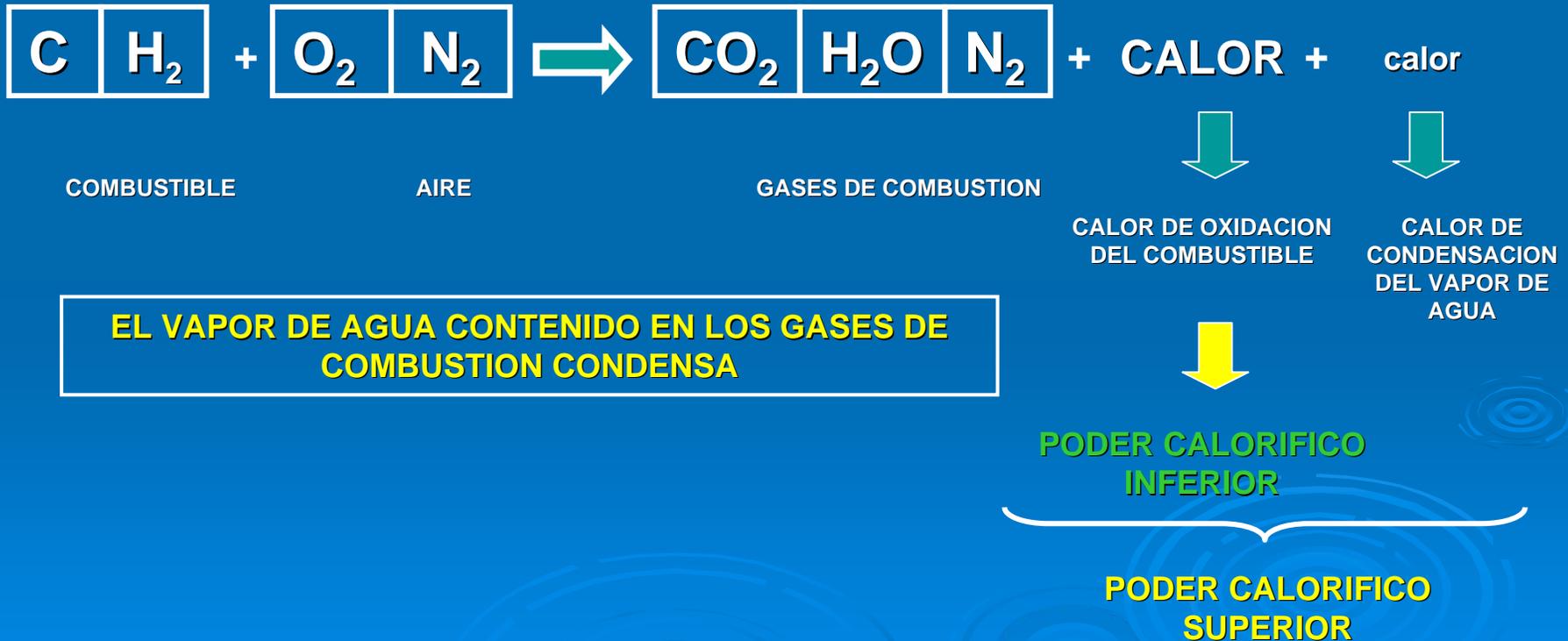
EL VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LOS GASES
DE COMBUSTION NO CONDENSA

CALOR DE OXIDACION
DEL COMBUSTIBLE

PODER CALORIFICO
INFERIOR

INTERPRETACION GRAFICA DEL PODER CALORIFICO SUPERIOR

Para obtener el Poder Calorífico de un combustible es necesario que todo el carbono (C) se oxide en forma completa pasando a anhídrido carbónico (CO₂)



RELACION ENTRE LOS PODERES CALORIFICOS

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 597 \times \text{G}$$

Donde:

PCI = Poder calorífico inferior (kcal / kg comb)

PCS = Poder calorífico superior (kcal / kg comb)

597 = Calor de condensación del agua a 0 °C (kcal / kg agua)

G = Porcentaje en peso del agua formada por la combustión del H₂ más la humedad propia del combustible (kg agua/ kg comb)

$$\text{G} = 9\text{H} + \text{H}_2\text{O}$$

Siendo:

9 : Son los kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno.

H: Porcentaje de hidrógeno contenido en el combustible.

H₂O: Porcentaje de humedad del combustible.

Por lo tanto la ecuación anterior queda:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 597 \times (9\text{H} + \text{H}_2\text{O})$$

DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO

Existen dos procedimientos para la determinación del poder calorífico de los combustibles, que son:

1.- Método Analítico

2.- Método Práctico

METODO ANALITICO

El Método Analítico consiste en aplicar el **Principio de Conservación de la Energía**, que expresa:

"El poder calorífico de un cuerpo compuesto es igual a la suma de los poderes caloríficos de los elementos simples que lo forman, multiplicados por la cantidad centesimal en que intervienen, descontando de la cantidad de hidrógeno total del combustible la que se encuentra ya combinada con el oxígeno del mismo".

Por lo tanto para la aplicación del presente procedimiento es necesario efectuar previamente un ANALISIS ELEMENTAL del combustible cuyo poder calorífico deseamos determinar:

C % - H % - O₂ % - S % - Humedad %

PODER CALORIFICO DEL CARBONO

Si el carbono (C) se combina con suficiente cantidad de oxígeno quema totalmente formando anhídrido carbónico con desprendimiento de calor.

La reacción química de la combustión completa del carbono es:



Si el oxígeno disponible para la combustión no fuera suficiente, el carbono se oxida formando monóxido de carbono con liberación de calor en mucho menos cantidad, según la siguiente reacción:



PODER CALORIFICO DEL HIDROGENO

1- PODER CALORIFICO SUPERIOR

El Hidrógeno se combina con el oxígeno en forma total, dando como resultado agua con desprendimiento de calor.



Este valor incluye el calor cedido por la condensación del vapor de agua formado en la combustión, por lo que de acuerdo a lo explicado anteriormente, corresponde al **poder calorífico superior del hidrógeno:**

$$\text{PCS} = 34.400 \text{ kcal/kg hidrógeno}$$

2- PODER CALORIFICO INFERIOR

En el caso de que no se pueda aprovechar ese calor de condensación, al calor liberado en la oxidación del hidrógeno habrá que descontarle el calor que pierde al no condensar el vapor de agua, con lo cual se obtendría el **poder calorífico inferior del hidrógeno**.

$$PCI = PCS - 600 \times (9H + H_2O)$$

Considerando:

H₂O = 0 por considerar que no existe humedad en el combustible

H = 1 kg hidrógeno

Resulta :

$$PCI = 34.400 - 600 \times 9$$

$$PCI = 34.400 - 5.400$$

$$PCI = 29.000 \text{ kcal/kg hidrógeno}$$

PODER CALORIFICO DEL AZUFRE

El azufre es un contaminante del combustible y su presencia es indeseable, no obstante cuando éste elemento está presente y se oxida libera calor de acuerdo a la siguiente reacción química:



FORMULA DE DULONG

PODER CALORIFICO SUPERIOR DE UN COMBUSTIBLE SECO

Por el principio de conservación de la energía, el físico DULONG expresa el **poder calorífico superior de un combustible seco**, sólido o líquido, que contenga carbono, hidrógeno y azufre en su composición, por la expresión:

$$PCS = 8.140 \times C + 34.400 \times (H - O/8) + 2.220 \times S$$

Donde:

C : cantidad centesimal de carbono en peso por kilogramo combustible

H : cantidad centesimal de hidrógeno total en peso por kilogramo de combustible

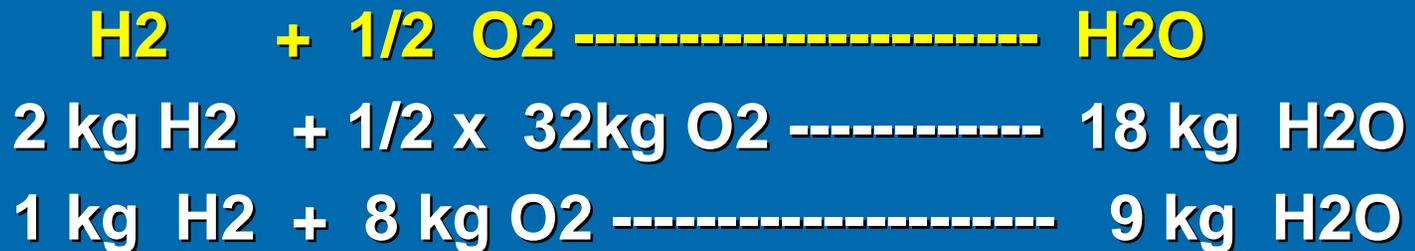
O: cantidad centesimal de oxígeno en peso por kilogramo combustible

S : cantidad centesimal de azufre en peso por kilogramo combustible

O / 8 : cantidad centesimal de hidrógeno en peso que se encuentra combinado con el oxígeno del mismo combustible dando "**agua de combinación**"

(H - O/8) : cantidad centesimal de "**hidrógeno disponible**", en peso realmente disponible para que se oxide con el oxígeno del aire, dando "**agua de formación**"

Recordemos la oxidación del hidrógeno:



Ecuación que nos dice que:

8 kg de oxígeno se van a combinar con 1 kg. de hidrógeno para "formar" 9 kg. de agua.

PODER CALORIFICO DE COMBUSTIBLES INDUSTRIALES

FORMULA DE DULONG

PODER CALORIFICO INFERIOR DE UN COMBUSTIBLE SECO

$$PCI = 8.140 \times C + 29.000 \times (H - O/8) + 2.220 \times S$$

FORMULA DE DULONG

PODER CALORIFICO INFERIOR DE UN COMBUSTIBLE HUMEDO

$$PCI = 8.140 \times C + 29.000 \times (H - O/8) + 2.220 \times S - 600 \times H_2O$$

FORMULA DE HUTTE

PODER CALORIFICO INFERIOR DE UN COMBUSTIBLE HUMEDO

$$PCI = 8.100 \times C + 29.000 \times (H - O/8) + 2.500 \times S - 600 \times H_2O$$

FORMULA DE LA ASOCIACION DE INGENIEROS ALEMANES

PODER CALORIFICO INFERIOR DE UN COMBUSTIBLE HUMEDO

$$PCI = 8.080 \times C + 29.000 \times (H - O/8) + 2.500 \times S - 600 \times H_2O$$

METODO PRACTICO

El Método Práctico consiste en el empleo de "**Calorímetros**" mediante los cuales se puede determinar en forma directa en el laboratorio el poder calorífico de los combustibles.

Los métodos calorimétricos consisten en quemar una cierta cantidad de combustible y medir la cantidad de calor producida a través de la energía térmica ganada por un líquido conocido, agua, el que, de acuerdo al método a utilizar, puede estar contenida en un recipiente, o permanecer en continua circulación durante el proceso.

En un proceso ideal se cumplirá que:

Calor liberado por el combustible = Calor ganado por el agua

$$Q_{\text{comb}} = Q_{\text{agua}}$$

$$Q_{\text{comb}} = m_a \times c_{pa} \times (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}})$$

CALORIMETRO DE MAHLER Y KROEKER

PROCEDIMIENTO DE CALCULO

El procedimiento de cálculo se basa en suponer que al no existir intercambio térmico con el medio, el calor generado dentro de la bomba calorimétrica (Q) es entonces absorbido por los elementos que rodean la misma que son:

- **el agua contenida en el calorímetro**
- **el agitador**
- **el termómetro**
- **la bomba y**
- **el recipiente calorimétrico**

$$Q = Q_{\text{agua}} + Q_{\text{agitador}} + Q_{\text{termómetro}} + Q_{\text{bomba}} + Q_{\text{recipiente.}}$$

$$Q = Q_{\text{agua}} + Q_{\text{agitador}} + Q_{\text{termómetro}} + Q_{\text{bomba}} + Q_{\text{recipiente}}$$

$$Q = m_{\text{agua}} \cdot cp_{\text{agua}} \cdot \Delta t + m_{\text{termómetro}} \cdot cp_{\text{termómetro}} \cdot \Delta t + m_{\text{agitador}} \cdot cp_{\text{agitador}} \cdot \Delta t + m_{\text{recipiente}} \cdot cp_{\text{recipiente}} \cdot \Delta t + m_{\text{baso}} \cdot cp_{\text{baso}} \cdot \Delta t$$

Como para distintos ensayos en un mismo aparato, tanto el agitador, como el termómetro, la bomba y el recipiente son comunes, se puede agrupar de la siguiente manera:

$$Q = \Delta t \cdot \left(m_{\text{agua}} \cdot cp_{\text{agua}} + m_{\text{termómetro}} \cdot cp_{\text{termómetro}} + m_{\text{agitador}} \cdot cp_{\text{agitador}} + m_{\text{recipiente}} \cdot cp_{\text{recipiente}} + m_{\text{baso}} \cdot cp_{\text{baso}} \right)$$

Ecuación que se puede indicar como:

$$Q = m_{\text{agua}} \cdot cp_{\text{agua}} \cdot \Delta t + E_{\text{aparato}} \cdot \Delta t$$

$$Q = (m_{\text{agua}} \cdot cp_{\text{agua}} + E_{\text{aparato}}) \cdot \Delta t$$

PODER CALORIFICO DE COMBUSTIBLES INDUSTRIALES

DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO SUPERIOR

Como el calor total liberado de la bomba calorimétrica es el cedido por la combustión del combustible y la del alambre, resulta:

$$Q = Q_{\text{combustible}} + Q_{\text{alambre}}$$

Despejando:

$$Q_{\text{combustible}} = Q - Q_{\text{alambre}}$$

Siendo:

$$Q = (m_{\text{agua}} \cdot c_p_{\text{agua}} + E_{\text{aparato}}) \Delta t$$

$$Q_{\text{alambre}} = m_{\text{alambre}} \cdot C_{\text{alambre}}$$

Siendo:

C_{alambre} = calor de fusión del alambre (kcal/kg)

m_{alambre} = peso del alambre (kg)

$$Q_{\text{combustible}} = (m_{\text{agua}} + E_{\text{aparato}}) \Delta t - m_{\text{alambre}} \cdot C_{\text{alambre}}$$

DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO SUPERIOR (continuación)

$$PCS = \frac{Q_{\text{combustible}}}{G_{\text{combustible}}}$$

$$PCS = \frac{(m_{\text{agua}} + E_{\text{aparato}}) \Delta t - m_{\text{alambre}} \cdot C_{\text{alambre}}}{G_{\text{combustible}}}$$

DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO INFERIOR

$$PCI = PCS - 600 (9H + H_2O)$$

En la práctica se emplea otro procedimiento mucho más dinámico

$$PCI = PCS - 600 \cdot \frac{G_{\text{agua}}}{G_{\text{combustible}}}$$

Donde:

G_{agua} = Representa el peso del total de agua existente (kg.agua)

G_{comb} = Es el peso de combustible quemado (kg.comb)

Siendo:

G_{agua} = Peso papel húmedo - Peso papel seco (kg.agua)