



TEMA 3: EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

TEMA 4: BALANCES TÉRMICOS EN PROCESOS DE COMBUSTIÓN

AUTOEVALUACIÓN II (SOLUCIONES)

Blanca M^a Caballero Iglesias
Maite de Blas Martín

Escuela de Ingeniería de Bilbao
Ingeniería Química y del Medio Ambiente

AUTOEVALUACIÓN II

Respuestas:

II.1. c) La **temperatura adiabática de llama** se define como la **máxima temperatura** que se puede alcanzar en un proceso de combustión suponiendo un recinto adiabático, es decir, sin pérdida ni ganancia de calor. Se calcula mediante el cociente entre el calor total aportado en el proceso de combustión (Q_T) y el producto del volumen de los gases de combustión generados y el calor específico promedio de los mismos ($c_m \cdot V$), tomando 0 °C como temperatura de partida.

$$T_A = \frac{Q_T}{c_m V}$$

Esta temperatura es sensiblemente **superior a la temperatura alcanzada en la combustión real**

AUTOEVALUACIÓN II

II.2. a) El **rendimiento pirométrico** se define como la relación entre la temperatura real de llama (T_{LL}) y la temperatura adiabática de llama (T_A) que correspondería en las mismas condiciones de combustión.

$$\eta_p = \frac{T_{LL}}{T_A}$$

La disminución de la temperatura adiabática se debe a reacciones endotérmicas (disociación de los gases de combustión generados, CO_2 , H_2O ...) y pérdidas por radiación al medio ambiente.

AUTOEVALUACIÓN II

II.3. b) Para **aumentar la temperatura adiabática de llama** se podría utilizar un combustible de mayor poder calorífico, precalentar el combustible y/o el aire de combustión, enriquecer el aire con oxígeno y **reducir el exceso de aire**.

Para un combustible determinado, la temperatura adiabática de llama (T_A) será tanto más elevada cuanto menor sea el coeficiente de exceso de aire "n" utilizado y la combustión sea completa, es decir, cuanto más se aproxime la combustión real a la combustión teórica; de esta manera el volumen de los gases de combustión generados disminuye, y según la ecuación utilizada para el cálculo de T_A , el valor de ésta aumentará.

$$T_A = \frac{Q_T}{c_m V}$$

$$Q_T = Q_C + Q_A + Q_F$$

AUTOEVALUACIÓN II

II.4. b) El **poder calorífico superior (PCS)** se puede determinar: 1) de forma experimental en una bomba calorimétrica (procesos a volumen constante) en el caso de combustibles sólidos o líquidos o en un calorímetro (procesos a presión constante) para combustibles de naturaleza gaseosa; 2) aplicando la ley de Hess, conociendo la fórmula molecular del combustible, bien sólido, líquido o gaseoso; 3) utilizando **fórmulas empíricas** (Dulong para combustibles sólidos, Boie y otros en el caso de combustibles líquidos); 4) **a partir de la composición de un combustible formado por mezcla de gases.**

El **poder calorífico inferior (PCI)** se calcula a partir del PCS obtenido y teniendo en cuenta el calor de condensación del agua generada en forma de vapor a las altas temperaturas alcanzadas en los procesos de combustión.

$$PCI = PCS - m\lambda_{\text{condensación}}$$

m: kg vapor de agua

AUTOEVALUACIÓN II

II.5. b) El rendimiento térmico indica la **eficiencia energética** en una instalación, considerando el **calor útil** aportado al **producto y**, en el caso en el que en la instalación se genere **vapor de agua**, también el calor aportado al vapor de agua producido. El rendimiento de la combustión indica la medida de la efectividad de la combustión en el horno o cámara de combustión.

II.6. c) Cuanto más cercano sea el coeficiente de exceso de aire "**n**" a la **unidad**, **mayor es la temperatura adiabática de llama**, siempre que no se produzcan inquemados. El intercambio del combustible por otro de mayor poder calorífico, no siempre es posible. Generalmente, para intercambiar un combustible por otro es necesario que ambos se encuentren en el mismo estado de agregación. En el caso de combustibles gaseosos, además, es necesario que pertenezcan a la misma familia de gases y que cumplan los criterios de intercambiabilidad. El aumento del contenido de oxígeno del aire es posible si no hay limitaciones económicas, pero se requieren medidas de seguridad adicionales en la instalación.

AUTOEVALUACIÓN II

II.7. c) En los regeneradores la transferencia de calor es intermitente y los fluidos (gases de combustión y aire/combustible) circulan por el mismo conducto pero de forma alterna. Los regeneradores pueden encontrarse en periodo de calentamiento (los gases de combustión se enfrían, el regenerador almacena calor) o enfriamiento (el aire/combustible frío se calienta mediante el calor almacenado en el regenerador). En los recuperadores los fluidos circulan por conductos separados físicamente, pero la transferencia de calor es continua. En las calderas de recuperación se aprovecha el calor de los gases de combustión, pero no para ser intercambiado con el aire/combustible (tal y como se indica en el enunciado), si no para producir vapor de agua.

II.8. a) Las pérdidas por radiación y enfriamiento pueden reducirse utilizando materiales aislantes o sistemas de refrigeración aire/agua, ya que el gradiente de temperatura entre el interior y el exterior se reduce. Las pérdidas por aperturas se producen por infiltración de aire del exterior de la instalación cuando la presión exterior es mayor que la interior. Cuando la presión interior es mayor que la exterior pueden producirse fugas.

AUTOEVALUACIÓN II

II.8. (continuación) Las pérdidas de calor por purgas de agua en la caldera son inevitables, ya que suelen ser necesarias para mantener la salinidad y sólidos en suspensión en valores aceptables y evitar incrustaciones