

## **46. Combustibles sólidos. Combustibles líquidos. Gases combustibles. Combustión. Poder calorífico. Cantidad de aire de combustión y gases de escape. Temperatura de combustión. Análisis de los humos de combustión.**

### **Introducción**

El uso de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos en los sistemas de producción de calor es un componente esencial en la industria térmica y en los sistemas de calefacción residenciales y comerciales. Estos combustibles, junto con el proceso de combustión, determinan no solo la eficiencia energética de las instalaciones sino también su impacto medioambiental. El conocimiento detallado de las propiedades de los combustibles, como su poder calorífico, así como de los parámetros críticos del proceso de combustión, como la cantidad de aire necesario, la temperatura de combustión y la calidad de los gases de escape, es fundamental para optimizar el rendimiento de las instalaciones térmicas y garantizar la seguridad operativa.

La combustión es un proceso químico mediante el cual un combustible reacciona con el oxígeno del aire, liberando energía en forma de calor. Para que esta reacción sea eficiente y controlada, es necesario comprender el poder calorífico de los combustibles, que indica la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de combustible. Además, la correcta gestión de la cantidad de aire de combustión y el análisis de los humos de escape permiten ajustar el proceso de combustión para minimizar las pérdidas energéticas y reducir las emisiones de contaminantes.

En este contexto, la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional refuerzan la importancia del desarrollo de las competencias del alumnado para mejorar su potencial de empleabilidad. El dominio de los conceptos relacionados con los combustibles y la combustión no solo mejora la eficiencia de las instalaciones térmicas, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al fomentar un uso racional de los recursos energéticos.

A lo largo del desarrollo del tema se abordarán las características de los distintos tipos de combustibles, los factores clave del proceso de combustión, el cálculo del poder calorífico y la evaluación de los gases de escape mediante el análisis de humos. Esta visión integral permitirá a los futuros profesionales del sector desarrollar habilidades técnicas avanzadas, esenciales para el mantenimiento y la optimización de los sistemas de calefacción y producción de calor en diferentes entornos industriales y residenciales.

# Combustibles sólidos. Combustibles líquidos. Gases combustibles

Los combustibles son sustancias capaces de liberar energía térmica a través del proceso de combustión. Esta energía es utilizada en sistemas de calefacción, producción de vapor y en diversas aplicaciones industriales. Los combustibles se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos, cada uno con características específicas que determinan su eficiencia, facilidad de manejo, almacenamiento y impacto ambiental. La correcta selección y utilización de cada tipo de combustible es fundamental para optimizar el rendimiento de las instalaciones térmicas y garantizar la seguridad operativa.

## Combustibles sólidos: características y tipos

Los combustibles sólidos son materiales en estado sólido que, al quemarse, liberan energía en forma de calor. Se utilizan principalmente en aplicaciones industriales y en sistemas de calefacción basados en biomasa.

### Tipos de combustibles sólidos

1. **Carbón:** Existen diferentes tipos de carbón, como la antracita, el hulla, el lignito y la turba, clasificados según su contenido en carbono y su poder calorífico. La antracita es la más eficiente, mientras que la turba es la menos calórica.
2. **Biomasa:** Incluye pellets de madera, astillas, residuos forestales y agrícolas. Es una opción renovable y sostenible, cada vez más utilizada en calderas domésticas e industriales.
3. **Leña:** Usada principalmente en sistemas de calefacción tradicionales y estufas de leña. Su poder calorífico depende del tipo de madera y su nivel de humedad.
4. **Coque:** Producto derivado del carbón, utilizado en procesos industriales por su alta densidad energética.

### Ventajas y desventajas de los combustibles sólidos

#### Ventajas:

- Amplia disponibilidad, especialmente en regiones con recursos forestales.
- Menor coste en comparación con otros combustibles.
- En el caso de la biomasa, se considera una fuente de energía renovable y neutra en emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### Desventajas:

- Generan cenizas y residuos sólidos tras la combustión.
- Mayor dificultad en el manejo y almacenamiento.
- Emisiones de partículas y contaminantes si no se utilizan sistemas de filtrado adecuados.

## Combustibles líquidos: eficiencia y aplicaciones

Los combustibles líquidos se obtienen principalmente del petróleo y se caracterizan por su alta densidad energética y su facilidad de almacenamiento y transporte. Son ampliamente utilizados en calderas, quemadores y motores térmicos.

### Tipos de combustibles líquidos

1. **Gasóleo (diésel)**: Utilizado en calderas domésticas e industriales. Ofrece un buen rendimiento energético y es fácil de almacenar.
2. **Fuelóleo**: Un derivado pesado del petróleo, usado en grandes calderas industriales y en aplicaciones marinas. Es más económico que el gasóleo, pero requiere sistemas de calentamiento previo para facilitar su atomización.
3. **Keroseno**: Utilizado en calefacción doméstica y en aviación. Su combustión es más limpia y ofrece una alta eficiencia.
4. **Biodiésel**: Un combustible renovable derivado de aceites vegetales o grasas animales. Es una alternativa sostenible al gasóleo convencional.

### Ventajas y desventajas de los combustibles líquidos

#### Ventajas:

- Alta densidad energética y eficiencia en la combustión.
- Facilidad de transporte y almacenamiento en depósitos.
- Permiten un control más preciso de la combustión mediante sistemas de inyección y atomización.

#### Desventajas:

- Emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes durante la combustión.
- Requieren precauciones especiales en su almacenamiento para evitar fugas y derrames.
- El coste puede estar sujeto a variaciones en el mercado del petróleo.

## Gases combustibles: potencia y control en la combustión

Los gases combustibles son compuestos gaseosos que al mezclarse con el oxígeno y ser sometidos a una chispa o fuente de calor, arden liberando una cantidad significativa de energía. Su uso está muy extendido en sistemas de calefacción, calderas de gas, cocinas industriales y en la generación de electricidad.

### Tipos de gases combustibles

1. **Gas natural**: Compuesto principalmente por metano, es el gas más utilizado por su alta eficiencia, bajo coste y menor impacto ambiental respecto a otros combustibles fósiles.

2. **Gas licuado del petróleo (GLP):** Mezcla de propano y butano. Se utiliza en lugares donde no llega la red de gas natural, en calderas, cocinas y calefactores.
3. **Biogás:** Producido mediante la fermentación anaeróbica de residuos orgánicos. Es una fuente renovable y permite una combustión limpia.
4. **Hidrógeno:** Combustible con un altísimo poder calorífico y sin emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que solo produce vapor de agua al quemarse. Su uso está en expansión en aplicaciones industriales y en sistemas de energía renovable.

## **Ventajas y desventajas de los gases combustibles**

### **Ventajas:**

- Combustión limpia con bajas emisiones de partículas y CO<sub>2</sub> (especialmente en el caso del biogás y el hidrógeno).
- Fácil de manejar y regular mediante sistemas automatizados de control.
- Compatible con tecnologías de alta eficiencia, como las calderas de condensación.

### **Desventajas:**

- Riesgo de fugas y explosiones si no se manejan correctamente.
- Requieren infraestructuras específicas para el almacenamiento y distribución.
- Dependencia de redes de suministro, especialmente en el caso del gas natural.

## **Aplicación práctica en el ámbito profesional**

En el sector de la instalación y mantenimiento de equipos térmicos, los profesionales deben conocer las características de cada tipo de combustible para seleccionar el más adecuado en función de las necesidades del sistema y las condiciones operativas. Además, deben ser capaces de garantizar un uso seguro y eficiente de los combustibles, implementando las mejores prácticas en el almacenamiento, el suministro y la combustión, y asegurando el cumplimiento de las normativas vigentes en materia de seguridad y medio ambiente.

La correcta selección y manejo de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos no solo mejora la eficiencia de los sistemas térmicos, sino que también contribuye a reducir el impacto ambiental y a optimizar los costes operativos. En el siguiente epígrafe se profundizará en el proceso de combustión, el cálculo del poder calorífico y la importancia de la cantidad de aire y el análisis de los gases de escape para maximizar el rendimiento y minimizar las emisiones contaminantes.

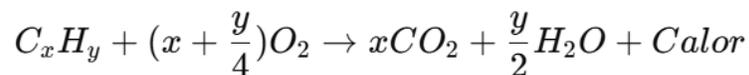
## **Combustión. Poder calorífico. Cantidad de aire de combustión y gases de escape**

La combustión es el proceso químico mediante el cual un combustible reacciona con el oxígeno del aire, liberando energía en forma de calor y produciendo gases de escape. Este proceso es

fundamental en los sistemas de calefacción y producción de energía térmica, ya que determina la eficiencia de las instalaciones y su impacto medioambiental. La correcta gestión de la combustión, así como el conocimiento del poder calorífico de los combustibles y la cantidad de aire necesaria, son aspectos clave para maximizar el rendimiento energético y minimizar las emisiones contaminantes.

## Proceso de combustión: fundamentos químicos y térmicos

La combustión se basa en una reacción química exotérmica en la que el combustible (sólido, líquido o gaseoso) se combina con el oxígeno para producir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y, en algunos casos, otros compuestos, dependiendo de las impurezas presentes en el combustible. La ecuación general de la combustión completa de un hidrocarburo es:



### Tipos de combustión:

1. **Combustión completa:** Ocurre cuando el oxígeno es suficiente para oxidar completamente el combustible. Produce CO<sub>2</sub> y vapor de agua, generando la máxima cantidad de energía.
2. **Combustión incompleta:** Se produce cuando no hay suficiente oxígeno, resultando en la formación de monóxido de carbono (CO), hollín y otros compuestos nocivos. Disminuye la eficiencia y aumenta la peligrosidad del sistema.
3. **Combustión estequiométrica:** Es el punto en el que la cantidad de oxígeno es exactamente la necesaria para quemar todo el combustible sin exceso ni defecto. En la práctica, se suele añadir un pequeño exceso de aire para garantizar una combustión completa.

## Poder calorífico: concepto y tipos

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de masa o volumen de dicho combustible. Se expresa generalmente en kilocalorías por kilogramo (kcal/kg) o en megajulios por metro cúbico (MJ/m<sup>3</sup>) en el caso de los gases.

### Tipos de poder calorífico:

1. **Poder Calorífico Superior (PCS):** Incluye el calor latente de condensación del vapor de agua generado en la combustión. Es el valor máximo de energía disponible si se condensa el vapor de agua de los gases de escape.
2. **Poder Calorífico Inferior (PCI):** No considera el calor latente del vapor de agua, suponiendo que este se expulsa en forma gaseosa con los humos de combustión. Es el valor más utilizado en los cálculos prácticos de eficiencia de calderas.

### Fórmula para el cálculo del poder calorífico:

$$PCI = PCS - (H_2 \cdot 9 \cdot 600) \text{ kcal/kg}$$

Donde H<sub>2</sub> es el contenido de hidrógeno del combustible y 600 kcal/kg es el calor latente de vaporización del agua.

### Cantidad de aire de combustión: cálculo y control

Para que la combustión sea completa, es fundamental aportar la cantidad correcta de aire, que contiene aproximadamente un 21% de oxígeno. La relación aire-combustible debe ser adecuada para evitar pérdidas de eficiencia o riesgos de contaminación.

#### Tipos de aire en la combustión:

1. **Aire teórico (estequiométrico):** Es la cantidad mínima de aire necesaria para quemar completamente el combustible. Se calcula a partir de la composición química del combustible.
2. **Aire real:** Incluye un exceso de aire añadido al aire teórico para asegurar la combustión completa y evitar la formación de monóxido de carbono (CO). El exceso de aire suele estar entre un 5% y un 20%, dependiendo del tipo de combustible.

#### Cálculo del volumen de aire teórico:

$$V_{aire} = V_{O_2} \cdot \frac{100}{21}$$

Donde V<sub>O<sub>2</sub></sub> es el volumen de oxígeno necesario para la combustión.

#### Control del aire de combustión:

- **Exceso de aire:** Mejora la combustión completa pero disminuye la eficiencia al enfriar los gases de escape.
- **Defecto de aire:** Aumenta el riesgo de combustión incompleta, generando monóxido de carbono y hollín.

### Gases de escape: composición y control de emisiones

Los gases de escape son el resultado de la combustión y su composición depende de la calidad de la combustión, el tipo de combustible y la cantidad de aire utilizado. Los principales componentes de los gases de combustión son:

1. **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Indicador de la eficiencia de la combustión. Un alto contenido de CO<sub>2</sub> sugiere una combustión completa.

2. **Monóxido de carbono (CO):** Indica una combustión incompleta. Es un gas tóxico y su presencia debe ser mínima.
3. **Oxígeno (O<sub>2</sub>):** La cantidad de oxígeno remanente en los humos permite evaluar si el exceso de aire es adecuado.
4. **Óxidos de nitrógeno (NOx):** Se forman a altas temperaturas y son contaminantes peligrosos para la salud y el medio ambiente.
5. **Hollín y partículas sólidas:** Especialmente presentes en la combustión de combustibles sólidos y líquidos pesados.

#### **Optimización de los gases de escape:**

- **Sistemas de recirculación de gases:** Reducen las emisiones de NOx al enfriar la temperatura de combustión.
- **Uso de economizadores:** Permiten recuperar el calor de los gases de escape para precalentar el agua de alimentación de la caldera.
- **Análisis de los humos:** Mediante analizadores de gases se mide la concentración de CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y otros gases, ajustando la combustión para maximizar la eficiencia.

#### **Aplicación práctica en el ámbito profesional**

En el sector de la instalación y mantenimiento de equipos térmicos, los técnicos deben ser capaces de evaluar el proceso de combustión, medir la composición de los gases de escape y realizar ajustes en los sistemas de combustión para optimizar el rendimiento. Además, deben conocer las normativas ambientales que regulan las emisiones contaminantes y aplicar tecnologías de control de humos y mejora de la eficiencia energética.

El correcto manejo del proceso de combustión y el control de los gases de escape permiten no solo maximizar la eficiencia de las calderas y sistemas de calefacción, sino también minimizar el impacto ambiental, reduciendo las emisiones de gases nocivos y mejorando la sostenibilidad de las instalaciones térmicas. El siguiente epígrafe abordará con mayor detalle la importancia de la temperatura de combustión y las técnicas de análisis de los humos de combustión, aspectos fundamentales para un control preciso y eficiente del proceso térmico.

### **Temperatura de combustión. Análisis de los humos de combustión**

La temperatura de combustión y el análisis de los humos son parámetros fundamentales para evaluar la eficiencia y seguridad de los sistemas de calefacción y producción de calor. La temperatura de combustión influye directamente en el rendimiento del proceso y en la formación de contaminantes, mientras que el análisis de los humos permite ajustar el sistema de combustión para optimizar su funcionamiento y reducir las emisiones. Un control adecuado de estos factores contribuye a maximizar la eficiencia energética y a cumplir con las normativas ambientales vigentes.

## Temperatura de combustión: importancia y factores determinantes

La temperatura de combustión es la temperatura alcanzada durante el proceso de combustión en el punto más caliente de la llama o en la cámara de combustión. Esta temperatura depende de varios factores, como el tipo de combustible, la relación aire-combustible, el diseño del quemador y la transferencia de calor dentro del sistema.

### Tipos de temperatura de combustión

1. **Temperatura teórica de combustión:** Es la temperatura máxima posible si no hubiera pérdidas de calor y todo el combustible se quemara completamente con el aire teórico. Se calcula en condiciones ideales.
2. **Temperatura real de combustión:** Es la temperatura alcanzada en condiciones reales de operación, que suele ser inferior a la teórica debido a las pérdidas de calor y al exceso de aire necesario para asegurar la combustión completa.

### Factores que afectan la temperatura de combustión

- **Tipo de combustible:** Los combustibles con un mayor poder calorífico, como el gas natural y el propano, alcanzan temperaturas de combustión más altas.
- **Relación aire-combustible:** Un exceso de aire reduce la temperatura de combustión al enfriar la llama, mientras que un defecto de aire puede provocar una combustión incompleta.
- **Diseño del quemador:** Los quemadores de alta eficiencia permiten una mejor mezcla de aire y combustible, optimizando la temperatura de combustión.
- **Transferencia de calor:** En sistemas industriales, el uso de economizadores y recuperadores de calor influye en la temperatura de los gases de escape, afectando la eficiencia global del sistema.

### Efectos de la temperatura de combustión en el rendimiento y las emisiones

- **Eficiencia del sistema:** Una temperatura de combustión óptima maximiza la transferencia de calor al medio a calentar, mejorando la eficiencia de la instalación.
- **Formación de contaminantes:** A altas temperaturas se produce una mayor cantidad de óxidos de nitrógeno (NOx), que son perjudiciales para la salud y el medio ambiente.
- **Seguridad operativa:** La temperatura excesiva puede dañar los componentes del sistema de calefacción, mientras que una temperatura demasiado baja puede favorecer la condensación de gases ácidos, causando corrosión.

### Análisis de los humos de combustión: objetivos y metodología

El análisis de los humos de combustión es una técnica utilizada para evaluar la calidad del proceso de combustión y ajustar los parámetros operativos de las calderas y sistemas térmicos. Este análisis permite medir la concentración de gases en los humos de escape, optimizando el rendimiento y reduciendo las emisiones contaminantes.

## Parámetros evaluados en el análisis de humos

1. **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Un alto contenido de CO<sub>2</sub> en los humos indica una combustión eficiente, mientras que un nivel bajo puede ser síntoma de un exceso de aire.
2. **Monóxido de carbono (CO):** La presencia de CO es un indicativo de combustión incompleta y es peligroso debido a su toxicidad.
3. **Oxígeno (O<sub>2</sub>):** Un exceso de oxígeno en los humos sugiere un exceso de aire, lo que reduce la eficiencia del sistema.
4. **Óxidos de nitrógeno (NOx):** Se forman a altas temperaturas y su control es fundamental para reducir la contaminación ambiental.
5. **Temperatura de los gases de escape:** Permite calcular el rendimiento de la caldera y evaluar si se están produciendo pérdidas excesivas de calor.

## Equipos utilizados para el análisis de humos

El análisis de los humos se realiza mediante analizadores portátiles o fijos que miden la composición de los gases de combustión en tiempo real. Estos equipos utilizan sensores electroquímicos, ópticos o infrarrojos para detectar la concentración de gases como CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y NOx.

### Proceso de análisis:

1. Se introduce una sonda en la chimenea o conducto de evacuación de los humos.
2. El analizador toma una muestra de los gases y mide su composición.
3. Se interpretan los resultados para ajustar el sistema de combustión, mejorando su eficiencia y reduciendo las emisiones.

## Optimización del proceso de combustión mediante el análisis de humos

El análisis de humos permite realizar ajustes en los sistemas de combustión para:

- **Reducir el exceso de aire:** Mejorando la eficiencia al minimizar las pérdidas de calor con los gases de escape.
- **Corregir la mezcla aire-combustible:** Para evitar la formación de CO y garantizar una combustión completa.
- **Controlar la temperatura de combustión:** Para equilibrar la eficiencia con la minimización de la producción de NOx.
- **Detección temprana de fallos:** Identificando problemas en los quemadores, en la regulación del aire o en la calidad del combustible.

## Aplicación práctica en el ámbito profesional

En el sector de la instalación y mantenimiento de equipos térmicos, los profesionales deben ser capaces de interpretar los resultados del análisis de humos y realizar los ajustes necesarios

para optimizar la combustión. Esto incluye la regulación del flujo de aire, el ajuste de los quemadores y la implementación de sistemas de control automatizados que permitan monitorizar de forma continua los parámetros de combustión.

La gestión adecuada de la temperatura de combustión y el análisis preciso de los humos son fundamentales para garantizar la eficiencia energética, la seguridad de las instalaciones y el cumplimiento de las normativas ambientales. Estos conocimientos permiten a los técnicos realizar un mantenimiento preventivo efectivo, prolongando la vida útil de los equipos y mejorando su rendimiento operativo.

Este análisis exhaustivo de la temperatura de combustión y de los humos completa la visión integral del proceso de combustión, sentando las bases para reflexionar sobre la importancia de un manejo adecuado de los combustibles y la combustión en el contexto de la Formación Profesional.

## **Conclusión**

El estudio de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, así como del proceso de combustión, el poder calorífico, la cantidad de aire necesario y el análisis de los humos de combustión, es fundamental en el ámbito de la instalación y mantenimiento de equipos térmicos y fluidos. Estos conocimientos permiten a los profesionales optimizar el rendimiento de las instalaciones térmicas, garantizar la seguridad operativa y contribuir a la sostenibilidad medioambiental.

La correcta selección y manejo de los combustibles permite maximizar la eficiencia energética y minimizar las emisiones contaminantes. El poder calorífico de cada combustible determina su capacidad para generar calor, siendo un parámetro esencial para calcular el consumo y evaluar la viabilidad económica de una instalación térmica. Además, el control preciso de la cantidad de aire de combustión asegura que la reacción sea completa, evitando la formación de gases peligrosos como el monóxido de carbono (CO) y reduciendo las pérdidas energéticas asociadas a un exceso de aire.

El análisis de los humos de combustión, junto con la medición de la temperatura de combustión, proporciona datos críticos para ajustar los sistemas de calefacción y producción de calor. Estos análisis permiten identificar posibles ineficiencias en el proceso de combustión, realizar un mantenimiento predictivo y asegurar que las instalaciones cumplen con las normativas ambientales vigentes, reduciendo las emisiones de gases contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx) y el CO<sub>2</sub>.

En el contexto de la Formación Profesional, el desarrollo de estas competencias técnicas contribuye significativamente a la empleabilidad del alumnado, dotándoles de habilidades prácticas y conocimientos especializados necesarios para integrarse en un mercado laboral cada vez más orientado a la eficiencia energética y la sostenibilidad. Los futuros profesionales deben estar capacitados no solo para operar y mantener los sistemas térmicos, sino también

para realizar un análisis crítico de los procesos de combustión, proponiendo soluciones innovadoras que mejoren el rendimiento y reduzcan el impacto medioambiental.

En resumen, el dominio de los conceptos de combustión, poder calorífico y análisis de humos permite formar técnicos cualificados que aporten valor añadido a las empresas del sector, promoviendo la innovación, la seguridad y el uso eficiente de los recursos energéticos. Estos conocimientos, aplicados de manera práctica en el ámbito profesional, fortalecen el perfil de los técnicos en instalación y mantenimiento de equipos térmicos, alineándose con los objetivos de la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional para mejorar la empleabilidad y las competencias del alumnado.

## **Bibliografía**

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 340, 30 de diciembre de 2020.

Ley Orgánica 3/2022, de 31 de marzo, de ordenación e integración de la Formación Profesional

Delgado Mejías, M. (2019). *Montaje y mantenimiento de instalaciones caloríficas*. Editorial Síntesis.

Enríquez Santos, F. J. (2017). *Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas industriales* (1ª ed.). Editorial Síntesis.

Galdón Trillo, F. (2021). *Montaje y mantenimiento de instalaciones caloríficas*. Ediciones Paraninfo.

Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (2009). *Mecánica de fluidos* (Vol. 7, 1ª ed.). Editorial Reverté.

López Cañero, J. (2017). *Técnicas de montaje de instalaciones*. Ediciones Paraninfo.

Miranda Carreño, J. (2020). *Ingeniería de procesos: Diseño e integración de procesos químicos*. Dextra Editorial.