

# EL FUEGO SIN LLAMA: UN RETO EN LA INGENIERÍA DE LA COMBUSTIÓN

**Por: Andrés Amell Arrieta**

Profesor de la Facultad de Ingeniería. Coordinador Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Eficiente y Racional de la Energía – Gasure.





*El fenómeno de combustión sin llama se presenta cuando la concentración de oxígeno en la mezcla tripartita combustible, aire y gases de combustión es menor del 10% y la temperatura es mayor que la de autoignición, caracterizado por la ausencia de luminosidad en la zona de reacción. Sobre este fenómeno investiga el grupo Gasure de la Facultad de Ingeniería*



## De la proporción aire-combustible depende la calidad de la combustión

Todo combustible requiere una cantidad precisa de aire para quemarse completamente y liberar, en forma de calor, toda la energía química almacenada en sus moléculas. Si en un equipo de combustión no se suministra la cantidad correcta de aire, la combustión es incompleta; se produce monóxido de carbono, gas perjudicial para la salud que en altas concentraciones disminuye la eficiencia energética e incluso puede ser causal de muerte.

## La calidad de la mezcla aire-combustible influye en el tipo de la llama y su potencial contaminante

Cuando un combustible líquido o gaseoso se mezcla con el aire antes de la zona donde ocurre la reacción química, se tiene una llama de premezcla; cuando el combustible y aire se mezclan, en el instante en que ocurre la reacción, se genera una llama no premezclada. Experimentalmente se comprueba que la temperatura interna no es igual para las dos llamas y que los mecanismos por los que cada una transfiere el calor para calentar los objetos también son diferentes.

Por razones ambientales, para reducir las emisiones de óxidos nitrosos que son especies químicas que generan efectos ambientales nocivos, se ha intensificado el uso de llama de premezcla con exceso de aire en los equipos de combustión modernos, para sustituir las llamas no premezcladas que inicialmente tuvieron mayor difusión y más aplicaciones.

## La calidad del aire determina la ocurrencia de diferentes tipos de combustión

La calidad del aire depende de la presencia de sustancias químicas que reducen la concentración de oxígeno y que no aportan a la oxidación de los combustibles. Cuando el oxígeno representa el 21% del volumen del aire, se dice que el aire es normal; es el aire que respiramos y que frecuentemente usan los equipos corrientes. En estas condiciones, el tipo de combustión que se obtiene —la que un observador desprevenido generalmente conoce— forma una llama de alta luminosidad.

Desde que el ser humano comenzó a dominar el fuego hasta nuestros días, la combustión ha sido el principal fenómeno de transformación energética utilizado por la civilización, con significativos impactos para el desarrollo económico, social, científico y tecnológico. En el uso de las fuentes de energía en el ámbito mundial los combustibles, tanto fósiles como de origen renovable, representan aproximadamente el 85% de la energía primaria; en Colombia este porcentaje corresponde al 80%.

La combustión es una reacción química en la que los combustibles se combinan con el oxígeno del aire para liberar calor, generando gases de combustión. El calor liberado puede ser utilizado directamente, como sucede en las cocinas y calentadores de agua de nuestras residencias; también puede ser transformado en potencia mecánica en los motores de combustión interna de las motos, de los automóviles, en las turbinas que propulsan aviones y en plantas termoeléctricas donde se genera electricidad.

En la combustión hay dos actores determinantes: el combustible, portador de la energía, y el comburente, como agente oxidante, representado por oxígeno del aire. Tan importante es el uno como el otro; solo que pagamos por el combustible debido a que es una fuente limitada, mientras el aire siempre está disponible y sin ningún costo.

Múltiples son las situaciones en las que se pueden identificar las formas como la disponibilidad y calidad del aire determinan la ocurrencia estable de la combustión y sus tipos, la formación de emisiones contaminantes, la eficiencia energética de la combustión, su manejo seguro y la forma de las llamas.

---

**En la combustión hay dos actores determinantes: el combustible, portador de la energía, y el comburente, como agente oxidante, representado por oxígeno del aire.**

---



Horno desarrollado y patentado por el grupo Gasure, operando en los modos sin llama y con llama.

Si el oxígeno representa un volumen mayor al 21%, se dice que el aire es enriquecido. En este caso es necesario usar diferentes técnicas para separar el nitrógeno del oxígeno, y se tiene combustión con aire enriquecido; si el comburente es 100% oxígeno se presenta oxicomustión. Estos tipos de combustión se caracterizan por la rapidez en la transferencia del calor a los objetos a calentar y porque facilitan la separación del dióxido de carbono de los gases de combustión para su captura y almacenamiento en yacimientos agotados de hidrocarburos, con lo que se busca contribuir a la reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

Cuando en una mezcla de productos de combustión el aire está diluido, la concentración de oxígeno se hace menor del 10% y la temperatura en la zona de reacción es igual o mayor a la de autoignición del combustible gaseoso usado; se presenta entonces un fenómeno denominado *combustión sin llama*, caracterizado por la ausencia de luminosidad en la zona de reacción. Es un nuevo tipo de combustión, descubierto accidentalmente en un horno en Europa en los años noventa, y que posteriormente ha sido científicamente estudiado para entender por qué ocurre y cuáles son sus ventajas con respecto a la combustión convencional con llama. Se ha visto que este tipo de combustión presenta distribución

uniforme de temperatura en la zona de reacción química, calentamiento uniforme, menor intensidad de ruido y muy reducidas emisiones contaminantes de óxidos nitrosos y monóxido de carbono.

### El aire determina la potencia motriz del fuego

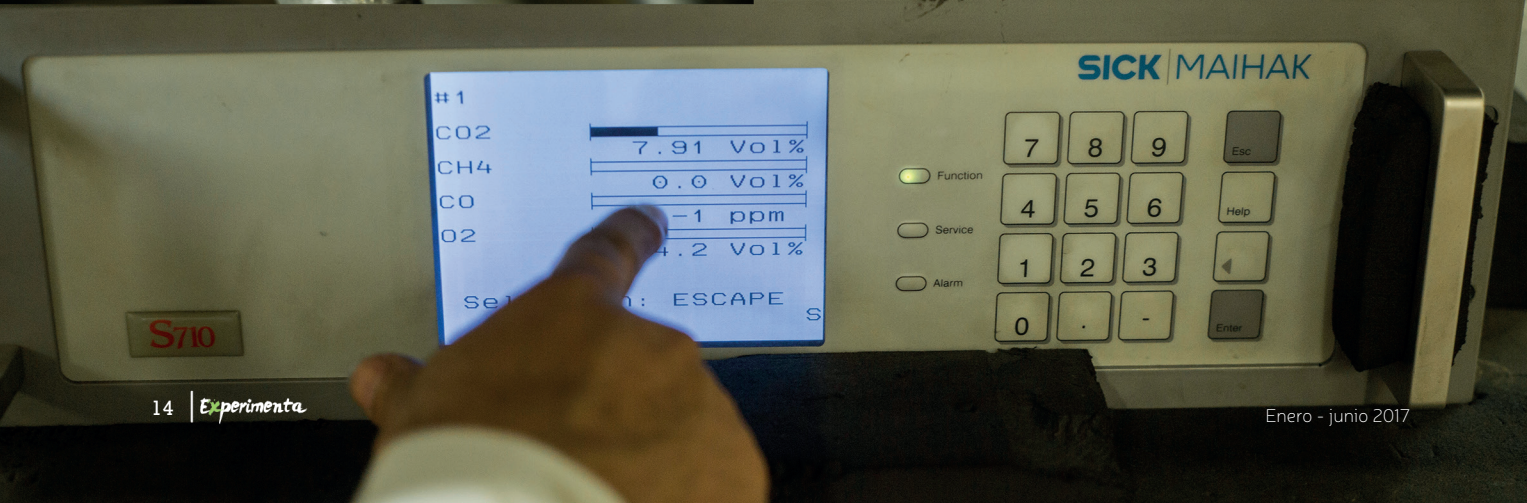
En toda máquina de combustión interna, durante la reacción del combustible con el aire, se forman gases de combustión a alta temperatura y presión, que se expanden para transferir su energía a un mecanismo receptor que la transforma en potencia mecánica; como diría Sadi Carnot –ingeniero francés de la época napoleónica y uno de los formuladores de la termodinámica clásica– “La potencia motriz del fuego”.

Sin la contribución del aire como portador del comburente y como fluido motriz, pues representa la mayor proporción del flujo másico en los gases de combustión, sería imposible el funcionamiento de las máquinas térmicas (turbinas a gas, propulsores, motores de gasolina, motores diesel y otros); en consecuencia, no existirían, entre otras, realidades tecnológicas como el vuelo de los aviones, el impulso de las hélices para el transporte fluvial y marítimo, la locomoción terrestre y la generación térmica de electricidad. ✖

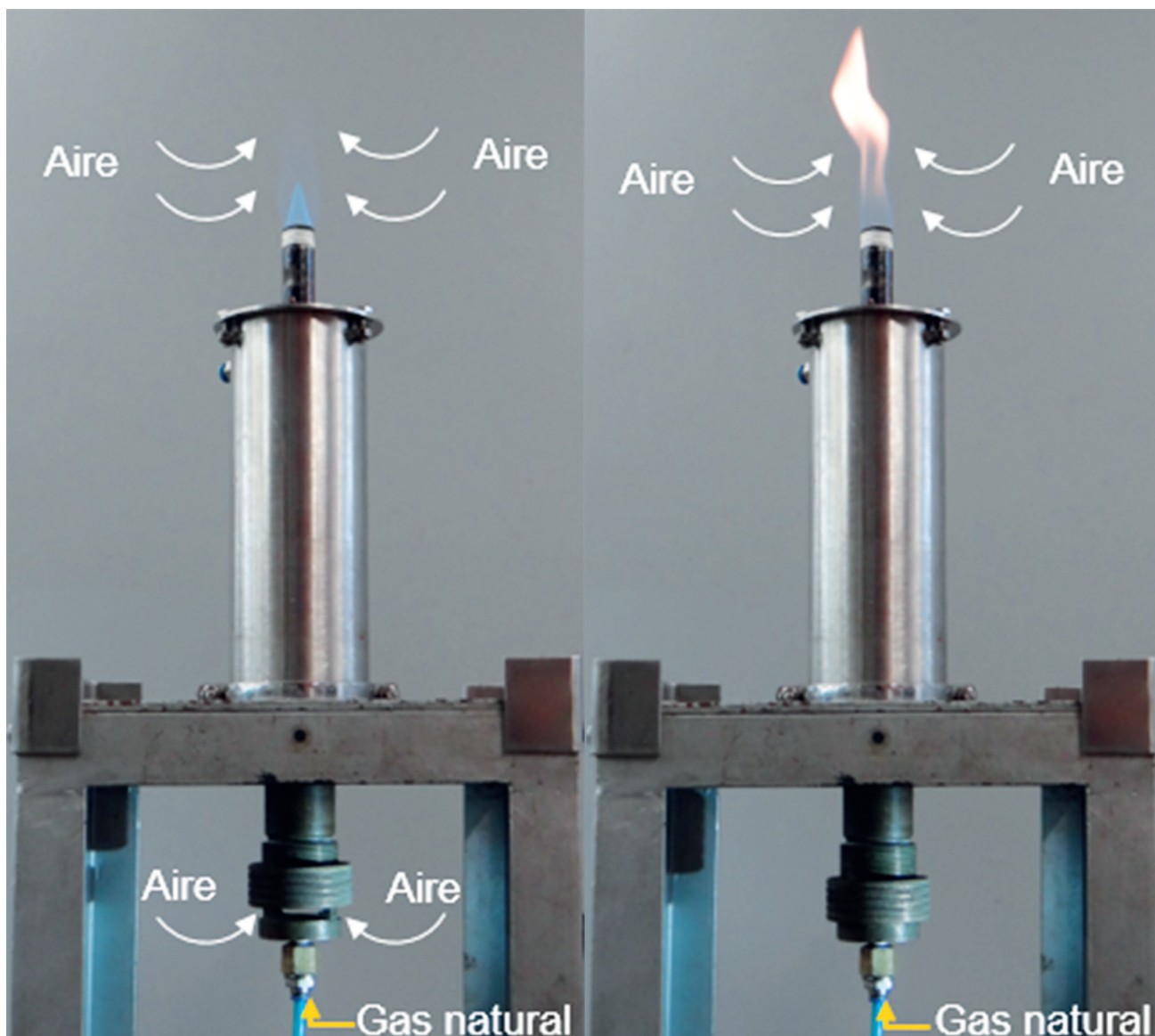
Combustible	Energía (kWh) liberada por 1 kg de combustible	Masa de aire requerida en 1 kg de combustible
Metano	15.4	17.2
Propano	14	15.6
Hidrógeno	39.4	34.2
Gasolina	13.1	14.7
Diésel	12.5	14.5



La combustión sin  
llama se caracteriza  
por la ausencia de  
luminosidad en la zona  
de reacción.







Tipos de combustión que pueden ocurrir, dependiendo de la concentración de oxígeno en la zona de reacción y de cómo se comporta la temperatura de llama. En la izquierda se observa una llama de premezcla, y en la derecha una llama no premezclada. Fotografía cortesía Grupo GASURE.

**En la combustión sin llama hay distribución uniforme de temperatura en la zona de reacción química, calentamiento uniforme, menor intensidad de ruido y reducidas emisiones de óxidos nitrosos y monóxido de carbono.**

#### **Glosario:**

**Temperatura de auto-ignición:** temperatura mínima a la cual una mezcla de aire y combustible gaseoso se enciende sin necesidad de una fuente externa de ignición.

**Flujo másico:** la cantidad de masa de un fluido, por unidad de tiempo, cuando circula por un ducto.