

Combustión sin llama

Camilo Echeverri-Urbe

Ingeniero mecánico y magíster en Ingeniería
camilo.echeverriu@udea.edu.co

Andrés A. Amell Arrieta

Ingeniero mecánico y magíster en Economía
de La Energía y Los Recursos Naturales
andres.amell@udea.edu.co

Durante un experimento en los años 80, un ingeniero alemán descubrió que el combustible se quema completamente sin mostrar llama alguna. Los sensores de monóxido de carbono marcaban menos de 1 parte por millón, algo inusual pero prometedor. En un horno desarrollado por investigadores de la UdeA, se ahorró el consumo energético hasta en un 30 % y se minimizaron las emisiones contaminantes.



A detail from a manuscript showing a wavy line with a small 'u' and a '2' next to it.



Λ

48

15

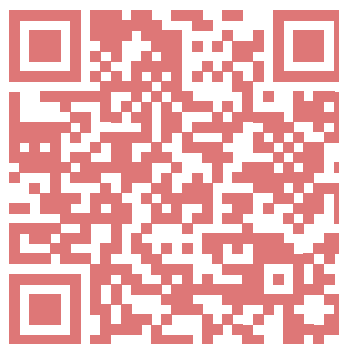
Una llama es una de las expresiones físicas de la materia en combustión, pero no la única, pues existe una forma de combustión en la que se libera calor sin una llama visible. Para que ocurra esta combustión, se requiere de tres elementos: combustible, aire u oxígeno y una fuente de calor (chispa). Esto es conocido como el triángulo del fuego; cuando falta alguno de estos elementos no se da la combustión. Sin embargo, existe un fenómeno conocido como combustión sin llama: no hay presencia del fuego como comúnmente lo conocemos.

En el Grupo de Ciencia y Tecnologías del Gas y Uso Racional de la Energía —GASURE—, hemos logrado encender un combustible sin que genere llama, proceso que además hemos aplicado en una empresa dedicada a la transformación de materiales en varios sectores industriales como los de metalmecánica, esmaltes cerámicos, construcción y agroindustria.

La combustión sin llama fue descubierta a finales de los años ochenta por la empresa WS Wärmeprozess-technik GmbH de Alemania, cuando Joachim Alfred Wüning realizaba un experimento en una cámara de combustión a alta temperatura, del orden de los 1000 °C, y suministrando el aire de combustión a 650 °C. En el experimento no se pudo ver ninguna llama y no se detectó ninguna señal de la presencia de llama utilizando sensores ultravioleta (UV) para la detección de llama. A pesar de ello, el combustible se quemó por completo y el contenido de monóxido de carbono (CO) en la chimenea del horno era inferior a 1 parte por millón¹. En el experimento las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) fueron cercanas a cero; lo que al principio se pensó que era un mal funcionamiento de los analizadores de gases luego resultó ser un nuevo tipo de combustión: la combustión sin llama.

Si bien en la literatura se encuentra que, bajo ciertas condiciones de operación, en la combustión del hidrógeno no se ve una llama, la combustión sin llama es un fenómeno diferente, presente en todos los combustibles, desde los sólidos como el carbón hasta los líquidos como el diésel y gaseosos como el gas natural o el mismo hidrógeno.

¹ En este contexto, partes por millón es una medida de la concentración de un gas en una mezcla de gases.



Escanea el QR y observa los procesos de combustión en un horno convencional y un horno de combustión sin llama.

La llama desaparece

Este fenómeno de combustión es posible gracias a que se cumplen dos condiciones: la primera es que la temperatura interna de la cámara de combustión debe estar por encima de la temperatura de autoignición del combustible, es decir, a una temperatura por encima de la cual una mezcla de comburente (normalmente aire) y combustible que se encuentre dentro del rango de inflamabilidad se encienda sin la necesidad de utilizar una fuente externa como una chispa. La segunda condición es que dentro de la cámara de combustión los gases tengan grandes corrientes de recirculación que permita que una parte de los gases de la combustión —normalmente dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂)— se devuelvan a la zona del quemador, que descarga el aire y el combustible a la cámara. De esta manera, estos tres elementos (combustible, aire y productos de combustión) se mezclan hasta que la concentración de O₂ se

disminuye por debajo del 8 %. Bajo estas dos condiciones, la llama desaparece, pero aún sigue liberándose calor, es decir, existen reacciones químicas de combustión.

Menos emisiones, mayor eficiencia: las ventajas de la combustión sin llama

■ Hay **mayor eficiencia energética** porque, al mejorar la transferencia de calor al producto que se quiere calentar, se disminuye el consumo de combustible.

■ Es **más eficiente** debido a que se utiliza mejor la energía. Se obtiene más producto en menos tiempo, es decir, se aumenta la productividad del proceso.

■ Las **temperaturas son uniformes** dentro de la cámara de combustión (en una combustión llama convencional la mayor temperatura se encuentra donde está la llama), debido a la recirculación de los gases al interior del horno.

■ El **calentamiento del producto ocurre más rápido** debido a que las temperaturas dentro del horno son uniformes.

■ **Produce menos emisiones contaminantes** y garantizan una mayor facilidad para la reducción de gases de efecto invernadero por las bajas emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO).

■ Es un **proceso con mayor flexibilidad, complementariedad e intercambiabilidad** para el uso óptimo de combustibles de composición química diferente, con lo que se facilita la complementariedad entre el gas natural y los combustibles gaseosos de origen renovable: hidrógeno, biometano, gas natural sintético y gas de síntesis.

El grupo GASURE y la combustión sin llama

Desde este descubrimiento se han realizado diferentes desarrollos tecnológicos a nivel mundial a los que hemos contribuido desde el grupo GASURE cuando se concedió la patente de un horno de combustión sin llama de 40 kW en el año 2013 y cuando en el año 2021 obtuvimos una patente más para un sistema de combustión sin llama que puede operar con combustible gaseoso, sólido, líquido y mezclas de sólido-gas o líquido-gas. Estos desarrollos fueron fundamentales en la posibilidad de usar esta tecnología en un proceso

industrial. Para ello, en conjunto con la empresa SUMICOL del grupo CORONA, se logró desarrollar un sistema de combustión sin llama para el secado de arcillas en un secadero rotativo, un equipo utilizado para secar materiales mediante la rotación de un tambor largo y cilíndrico. El reto de este desarrollo fue escalar la tecnología que operaba a 40 kW a 400 kW para lo cual fue fundamental aplicar criterios de escalado y simulaciones numéricas mediante *Dinámica de Fluidos Computacional* (CFD, por sus siglas en inglés), para posteriormente aplicar ingeniería de detalle en la fabricación del prototipo.

Para evaluar el desempeño de la tecnología de la combustión sin llama y determinar si ésta era más eficiente en comparación con la combustión convencional con la que se hacía este proceso en SUMICOL, se implementó una metodología para establecer la línea de base del proceso, es decir, realizar mediciones de temperatura y gases de combustión, consumo de combustible, producción, entre otros, de la operación del secadero durante varios días y, así, determinar la eficiencia térmica del secadero y el consumo específico, siendo este último como la cantidad de energía necesaria para producir 1 kilogramo (o unidad de peso que se maneje en el proceso) de producto.

Diseño y evaluación experimental en SUMICOL

Para el desarrollo del sistema de combustión sin llama fue necesario, como se mencionó antes, el uso de CFD para evaluar diferentes geometrías y condiciones de operación aplicando criterios de escalado y diseño con el fin de seleccionar la opción más óptima en cuanto a estabilidad y la mínima cantidad de emisiones de gases nocivos al ambiente. Posteriormente, se realizaron pruebas piloto en lo que llamamos pre-prototipo, es decir, un prototipo de bajo costo que ayuda a validar las simulaciones numéricas y que se usa en el proceso de SUMICOL con el fin de detectar posibles condiciones inadecuadas para corregir en el diseño final.

Los resultados de las pruebas en la planta de SUMICOL con el pre-prototipo fueron muy alentadores, puesto que la potencia a la cual se probó el sistema no era la nominal o, dicho en otras palabras, no era la que se usaba en el secadero y aún así los indicadores como la eficiencia térmica y el consumo es-

pecífico eran muy similares a la condición de operación normal del secadero. Por lo tanto, se procedió al diseño de detalle del prototipo final.

El prototipo final que opera con régimen de combustión sin llama escalado a una potencia de 400 kW fue instalado y acoplado exitosamente en el secadero rotativo sin presentar ningún problema en la operación y demostrando que era más eficiente que la tecnología convencional con llama, ya que se demostró que con menor potencia térmica era posible aumentar la producción cumpliendo todos los parámetros de calidad del producto. En otras palabras, se produjo más producto con menos consumo de gas natural y sin generar ningún problema en la operación, lo cual significa un ahorro del consumo de combustible hasta el 30 % para la empresa.

El Grupo GASURE, a través de su trabajo conjunto con la empresa SUMICOL, contribuye con este proyecto de innovación a la responsabilidad ambiental con aportes a la transición energética a través del uso de tecnologías de combustión avanzada como la combustión sin llama. ✕

Planta de SUMICOL.

Fotografía: Cortesía de SUMICOL.



Glosario

Comburente: Sustancia que al combinarse con un combustible favorece o permite que se produzca una combustión. Sin el comburente, no sería posible la combustión.

Temperatura de autoignición: La temperatura de autoignición es la temperatura mínima a la cual un combustible se encenderá espontáneamente sin necesidad de una fuente externa de ignición, como una llama o chispa. Este fenómeno ocurre cuando el combustible alcanza una energía térmica suficiente para iniciar la combustión debido a la acumulación de calor en su interior.

Este texto se deriva del proyecto Ajuste, escalado y evaluación en condiciones de procesos productivos industriales de sistemas de combustión avanzados de alta eficiencia energética y bajas emisiones. **Convocatoria:** 792-2017 2ª CONVOCATORIA ECOSISTEMA CIENTÍFICO PARA LA FINANCIACIÓN DE PROGRAMAS DE I+D+i.

Nombre del programa: Alianza para la sostenibilidad energética de los sectores industrial y de transporte colombiano mediante el aprovechamiento de recursos renovables regionales - SÉNECA. **Equipo de trabajo:** Universidad de Antioquia - GASURE: Andrés A. Amell Arrieta, Yonatan Cadavid Sánchez, Camilo Echeverri-Urbe, Yefferson López Zuluaga, Julián Esteban Obando Arbeláez, Andrés F. Colorado, Cristian Camilo Mejía Botero, Juan Esteban Ferrer Ruiz, Alejandro Restrepo Román. SUMICOL: Juan Felipe Gil Quintero, Juan David Rivas Medina, Ana María Muñoz Arango, Federico Moncada, José Manuel Gómez, Pedro Gómez.