

# AHORRO ENERGÉTICO CONTROLANDO LA COMBUSTIÓN

*Ing. José Gregorio Rendón*

**El monitoreo y control de la combustión es una de las tareas iniciales al buscar ahorros de combustible. Al mantener la proporción correcta de aire-combustible se evita que arrojemos energía por la chimenea o que enfriemos el hogar con aire de exceso. Mejorando o implementando sistemas de control de la combustión iniciamos la carrera en la reducción del monto de la factura energética.**

El entorno competitivo global y la internacionalización de los precios en insumos y productos, obliga a los industriales y productores a mejorar sus procesos e incrementar su margen de ganancia, a fin de mantenerse competitivos.

El ámbito del Gas Metano, no escapa de esta realidad. Aún siendo el Gas Metano el combustible fósil más económico de la oferta energética venezolana y aún considerando que Venezuela es uno de los países con los precios más bajos de América; el ajuste en los precios de este combustible impacta al productor y al consumidor. Este impacto es una oportunidad que obliga a reducir los desperdicios en el uso de energía; ajustando nuestro consumo a parámetros de uso eficiente con miras a alcanzar niveles óptimos similares al de los países altamente industrializados.

Por otra parte el incremento de la conciencia ambientalista en el mundo ha originado una serie de leyes de "Protección al Ambiente y Regulación de Emisiones". El ahorro energético a través de la combustión reduce la emisión de contaminantes. En algunos países las regulaciones o leyes ecológicas otorgan incentivos fiscales por utilización de combustibles poco dañinos al medio ambiente. También la violación en los niveles de emisiones a la atmósfera puede ocasionar multas y hasta el cierre de la planta

En este suplemento abordamos el control de la combustión como uno de los temas principales al iniciar un proceso de ahorro de Gas Metano. Se indican los principios generales de la combustión de gas metano y cómo los diferentes tipos de quemadores y sistemas de control influyen al intentar alcanzar las proporciones óptimas de aprovechamiento del calor.

## ***Ahorro de energía modificando procesos.***

Existen diferentes estrategias para reducir el monto de la factura de gas e incrementar el margen de ganancias de una industria, las cuales podemos agruparlas como sigue:

1. **Incrementando la eficiencia de la conversión de energía:** significa aumentar la eficiencia térmica de la combustión, aprovechando al máximo las propiedades intrínsecas del combustible y operativas del proceso; tales como: temperatura, velocidad de flujo y concentración del oxígeno y combustible. También implica la selección de los equipos más eficientes para el aprovechamiento de la energía total del combustible, mejorando la mezcla aire-combustible y aprovechando el tiro propio de la combustión.
2. **Disminuyendo pérdidas en el uso de la energía:** esto se logra incrementando el aislamiento de reactores, ductos, hogares, etc., aumentando la transferencia de calor precalentado, los insumos y enfriando los efluentes. Utilizando materia prima "seca" para reducir el uso de calor para evaporación del agua. Utilización del calor excedente de un proceso en otro proceso.
3. **Mejorando el promedio de consumo productivo de energía:** considerando la disponibilidad y costo del gas metano versus otras fuentes de energía pueden cambiarse procesos, eliminando el uso de la fuente de energía más costosa, por ejemplo: vagaso de caña por gas metano o fundición por arco sumergido por fundición con oxígeno puro y gas metano.

La enumeración de posibilidades de mejoras para el ahorro de energía son muchas y obviamente dependerán de la variedad de la cesta de productos energéticos disponibles; tecnología, capacitación, incentivos fiscales, regulaciones ambientales, etc. No obstante antes de evaluar la inversión en una mejora de ahorro energético debemos estar seguros que hemos llegado al máximo en la utilización del combustible, porque conocemos y controlamos todos los elementos que intervienen en la combustión.

## ***Principios de combustión.***

Se llama combustión a la combinación violenta del oxígeno con combustible, resultando una liberación de calor.

La esencia de una eficiente combustión es lograr que cada molécula de combustible reaccione con una molécula de oxígeno para que libere el calor de la reacción.

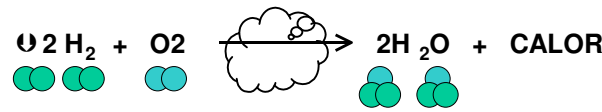


Fig 1. Combustión del Hidrógeno

La figura 1 ilustra la reacción de combustión del hidrógeno, donde efectivamente se combinan las proporciones correctas de estos dos gases.

Al igual que en una ensambladora de vehículos donde se combina un chasis a cuatro ruedas, en la proporción 1:4. En la combustión se busca que cada molécula de combustible se combine con las moléculas de oxígeno en una proporción específica.

Hipotéticamente si una la línea de ensamble automático de automóviles se mueve a menor velocidad de la recomendada, se construirían vehículos de más de cuatro ruedas. Si por al contrario la línea de ensamble se mueve a mayor velocidad, los chasis saldrían con tres ruedas o menos.

En la combustión cuando se introduce más oxígeno (o menos combustible) del necesario se excede la proporción de la mezcla, entonces el fuego se convierte en oxidante. El oxígeno de exceso no toma parte en el proceso e igualmente como entró, sale. Ensamblamos vehículos de seis ruedas.

Cuando se introduce menos oxígeno (o hay exceso de combustible) del necesario para la combustión el fuego se convierte en reductor. Es el caso de vehículos con tres o dos ruedas. Aquí el combustible de exceso no forma parte del proceso y se arroja por la chimenea.

En la práctica el oxígeno se obtiene del aire, el cual está compuesto por: 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno, 0,94% de Argón y el resto otros gases. Debido a que en el aire la proporción de oxígeno es mayor que la de nitrógeno, el volumen requerido de aire es mucho mayor que el requerido para oxígeno puro.

El nitrógeno del aire no participa en la reacción de combustión, es únicamente un acompañante indiferente al proceso. Aún así el nitrógeno absorbe cierta cantidad de la energía calorífica que se produce en la reacción; es decir, una porción de la energía calorífica se disipa entre las distintas moléculas de nitrógeno que formarán parte de los gases de combustión. Esto significa que se obtendrá una temperatura de llama más baja, si se utiliza aire en vez de oxígeno puro.

El mismo fenómeno se presenta si se suministra exceso de aire. En la Figura 2 se observa un diagrama del efecto del exceso de aire en la temperatura de los gases de combustión de un destilado

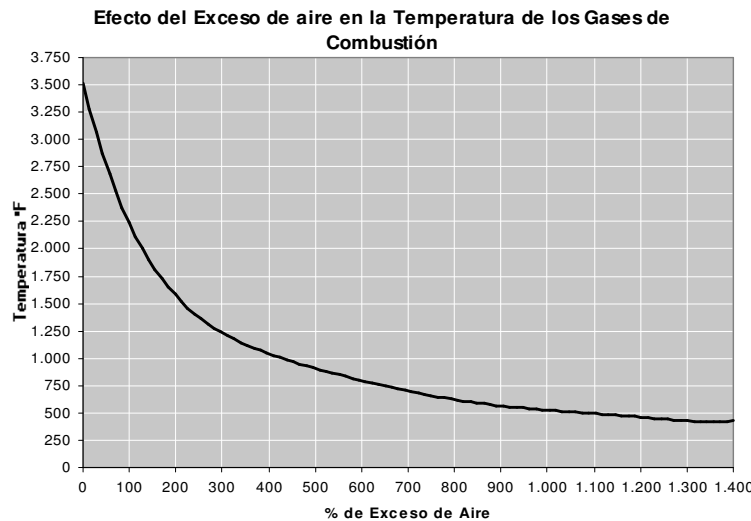


Figura 2 Efecto de exceso de aire en los productos de la combustión de un destilado líquido.

## Energía o Calor Disponible

El fenómeno de la influencia del exceso de aire en la temperatura de los productos de la combustión nos introduce al concepto de energía disponible.

La energía disponible se mide como el calor obtenido de la combustión perfecta de un combustible. Si mezclamos un combustible con la cantidad precisa de aire en una cámara cerrada donde recolectamos el calor obtenido y lo medimos, la cantidad de calor recolectado es la energía disponible y esta se relaciona con la temperatura de los productos de la combustión. Por ejemplo 1 pie<sup>3</sup> de Metano quemado con la proporción perfecta de aire genera, 1010 Btu (9.005 Kcal) de energía, si los gases de combustión son enfriados hasta 60 °F (15,6 °C). Este mismo pie<sup>3</sup>, genera 911 Btu (8.110 Kcal) de energía, si enfriamos los gases de combustión hasta 220 °F (105 °C). El primer valor de energía se le conoce como poder calorífico superior, al segundo valor como poder calorífico inferior.

De lo anterior se deduce que mientras mejor aprovechemos la energía disponible de la combustión, menor será la cantidad de combustible necesario para obtenerla. De aquí que mientras más exceso de aire se introduzca (o menor la temperatura del mismo) menor será la energía que se podrá obtener.

## Combustión del Gas Metano.

De una manera simple la combustión del metano se puede expresar con la siguiente manera:



El Gas Metano comercializado por tuberías en Venezuela es una mezcla de hidrocarburos donde el componente principal es Metano es más de un 80%. Por otra parte en un proceso industrial el oxígeno para la combustión se obtiene directamente del aire, el cual como indicamos posee en promedio, de 21% de oxígeno y el resto otros gases.

De lo anterior observamos que la reacción química de la combustión del Metano lleva consigo otras complejidades, es decir, no sólo es la reacción de metano con oxígeno; sino la combinación de todos los componentes del Gas Metano con todos los componentes del aire, donde naturalmente alguno de los acompañantes del Gas Metano y del aire no participan en la generación de calor.

En la práctica, para lograr que billones y billones de moléculas de combustible ubiquen una molécula de oxígeno entre los billones y billones de moléculas de los gases que componen el aire, debemos realizar algo más que sólo ponerlas en contacto; necesitamos:

- Introducir constantemente la proporción adecuada.
- Lograr una buena mezcla.
- Lograr y mantener la ignición.

El control de la combustión se trata de mantener estos tres ítems, en el mejor estado durante el proceso en que requerimos el calor. El desequilibrio en alguno de estos aspectos nos producirá una combustión ineficiente y, en ocasiones, riesgosa; con el consecuente derroche de energía.

## Control del caudal de aire.

El control del aire aportado para combustión tiene gran importancia. La proporción estequiométrica correcta entre Gas Metano y aire es 1:10,5, aproximadamente. Generalmente siempre es necesario un exceso de aire para que la combustión sea completa y no se produzcan inquemados. Este exceso puede estar entre 10% al 1.400%, dependiendo de la sofisticación del sistema de control de combustión y el objetivo del proceso.

El control del caudal de aire, aparte de garantizar la proporción de la mezcla combustible deseada, determina de alguna manera, la temperatura de los gases de combustión y la cantidad de energía que se puede aprovechar de los mismos. En la figura 3 se observa una gráfica que muestra el efecto del exceso de aire en la energía disponible para gas metano con 1000 BTU/pie<sup>3</sup> de poder calorífico.

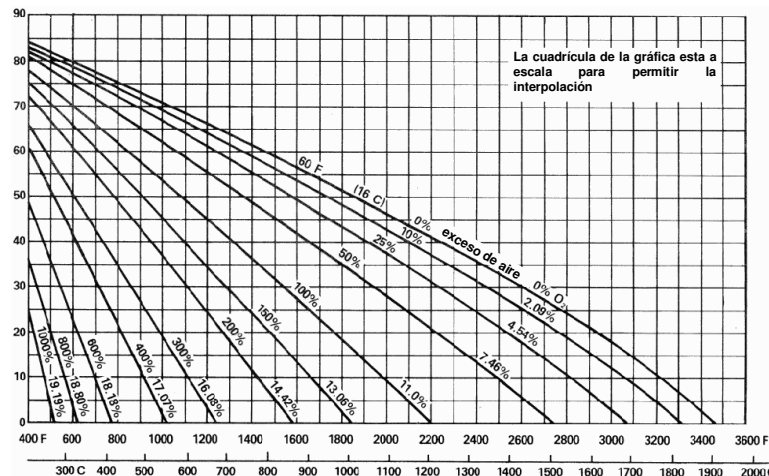


Figura 3. Efecto del exceso de aire en la Temperatura de los gases de Combustión y la Energía disponible

En la gráfica se observa cómo a mayor cantidad de aire, menor es la energía disponible. Por ejemplo la curva de 25% de exceso de aire (4,54% de O<sub>2</sub>) se tiene una temperatura a nivel de la llama de 3.070 °F (1.688 °C). Si aprovechamos el calor de la combustión hasta obtener una temperatura de 1000 ° F (538 °C) habremos aprovechado un 69% de la energía disponible.

## Control de mezcla en el quemador

Es claro que para ajustar los requerimientos de aire en un proceso, debemos actuar directamente sobre los elementos que actúan en la combustión, uno de estos es el quemador. Cada proceso requiere un tipo de quemador. Este quemador deberá

ser más sofisticado en la medida que el proceso lo exige. Por ejemplo para calentadores de aire, donde el objetivo es incrementar la temperatura del ambiente para reducir la humedad de un producto, no es necesario mantener un control estricto del aire de exceso, por tanto un quemador tipo venturí como el indicado en la figura 4 puede ser el indicado.

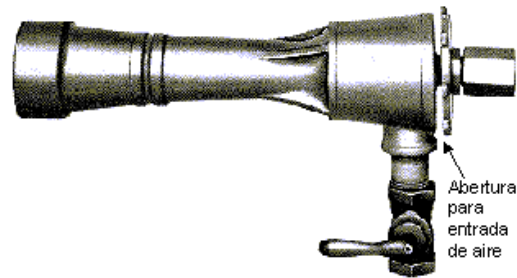


Figura 4. Quemador tipo Inspirador de Baja Presión

En el quemador de la figura 3 sólo tenemos posibilidad de ajustar la cantidad de aire con la variación de la abertura disponible para tal fin. El Gas Metano en estos quemadores ingresa previamente regulado y el efecto venturí succiona la cantidad de aire necesaria de acuerdo a la presión regulada de gas.

Para procesos más complejos, por ejemplo calderas pirotubulares, donde el quemador debe poseer un margen de operación para distintos niveles de requerimiento de energía, además de responder a ciclos de control automático de encendido y seguridad, se utilizan quemadores como el de la figura 5.

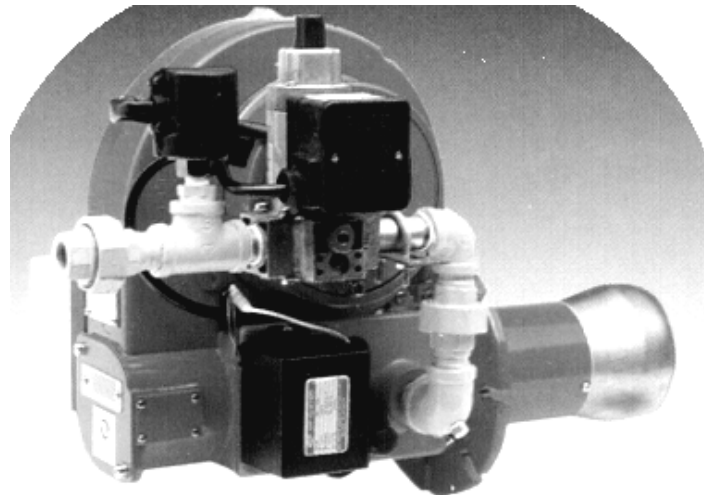


Figura 5. Quemador de Paquete Integral

El quemador ilustrado en la figura 5 posee soplador de aire y válvula reguladora de gas, integradas en un solo cuerpo. La válvula reguladora de gas actúa de acuerdo a un programa preestablecido de encendido y responde a los distintos escenarios de carga. Igualmente la cantidad de aire es ajustada automáticamente de acuerdo a los requerimientos puntuales del proceso.

El esquema de control de combustión de este tipo de quemadores funciona como se ilustra en la figura 6.

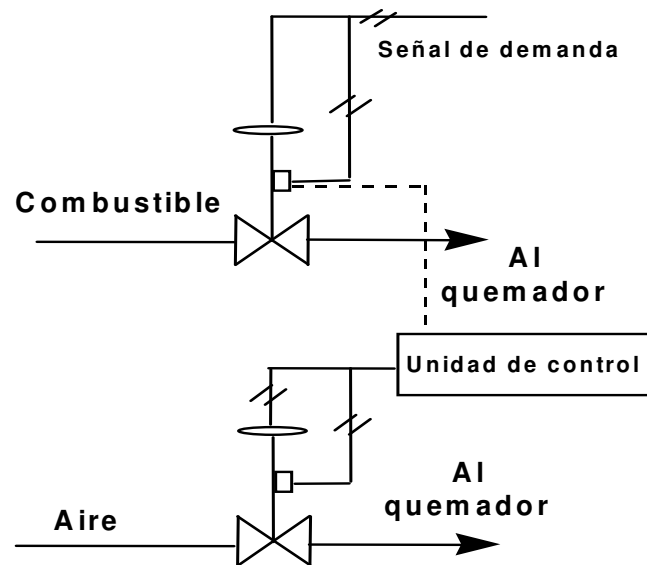


Fig 6. La unidad de control, de acuerdo con el programa preestablecido, ajusta las proporciones de aire/combustible al variar la demanda.

La exactitud en el ajuste de las proporciones aire-combustible para los quemadores con control de mezcla de acuerdo al esquema de la figura 6, dependerá del controlador y del tipo de actuador. Existen controladores de tipo electromecánico donde el ajuste de proporciones se lleva a cabo mediante un mecanismo de levas.

Cada quemador posee facilidades para el ajuste de la mezcla. Estas facilidades son tan complejas como el proceso en el cual se utilizará el quemador. Los quemadores indicados anteriormente representan dos tipos muy generales. Existen variantes entre los indicados, así como una gama de opciones a elegir dependiendo de la tecnificación del proceso, el costo de la energía, las condiciones disponibles de presión e incluso algunos diseños para procesos particulares donde expresamente se desea una combustión incompleta.

Países con altos costos en la energía y fuertes presiones ambientales o procesos que requieren precisión utilizan sistemas electrónicos de control de combustión que manejan distintas señales, permiten modular la mezcla aire-combustible en función de variables como: temperatura del hogar de combustión, cantidad de  $O_2$  emitido por las chimeneas, temperatura del aire de combustión, etc.

## Consideraciones finales

El control de la combustión es fundamental para iniciar un programa de ahorro energético. Para esto una de las piezas claves a analizar es el quemador, que al mismo tiempo está ligado a las características del proceso productivo.

Para controlar la combustión primero debemos estar seguros que utilizamos el quemador que mejor se ajusta a las necesidades de uso del calor, las exigencias del mercado de nuestro producto y el costo del combustible. Después que seleccionamos el quemador que armoniza con estas variables, debemos instalar los accesorios que nos permiten el ajuste de la mezcla, es decir: manómetros, válvulas de globo, reguladores, sistemas de levas, controladores electrónicos, etc.

Para obtener el mejor desempeño de los equipos de combustión, aprovechando al máximo la energía disponible, debemos ajustar los parámetros de control de aire-combustible. Para esto, dependiendo del proceso, se requerirá la calibración de los equipos por personal especializado.

Posteriormente debemos medir continuamente el consumo de combustible para alertar sobre cualquier desvío que pueda presentarse por desajuste de la calibración.

En conclusión, cada proceso que necesite calor requerirá de un rendimiento de la combustión particular, y para obtener el máximo beneficio de energía del combustible, debemos controlar la mezcla de éste con el aire; sólo así podemos saber si estamos utilizando el combustible eficientemente y continuar con otras mejoras que reduzcan aun más el gasto.

**Dirección del correo electrónico del autor, José Gregorio Rendón:** [mmr1@telcel.net.ve](mailto:mmr1@telcel.net.ve)

### Fuente

NORTH AMERICAN, "COMBUSTION HANDBOOK" Volume I y II. Third Edition 1986 (Volume I) 1997 (Volume II).

U. BONNE, S. B. SCHULDT AND A.E. JOHNSON. "PROCESS CONTROL FOR INCREASED FUEL EFFICIENCY". Honeywell. IGT Symposium papers April 1974.

CREUS ANTONIO, "INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL". 3ra Edición, Marcombo. 1988.

MÁRQUEZ MARTÍNEZ, MANUEL. COMBUSTIÓN Y QUEMADORES. Barcelona : Marcombo, 1989.

*Para obtener mayor información sobre este tópico, puede comunicarse directamente con la Superintendencia de Asistencia Técnica*

Especializada de PDVSA-Gas, por los teléfonos: (041) 506.820 (041) 506.940 (041) 506.815 (041) 506.885