

Influencia de las variaciones del coeficiente de intensidad de giro “ ζ ” en la aerodinámica de la llama de los quemadores de cualquier instalación industrial

Autor:

Dr. C. Abelardo Daniel Rodríguez Arias.

abelardo@inel.une.cu

Laboratorio de Combustión INEL-UNE. Unidad Empresarial de Base de la empresa de Ingeniería y proyectos de la Unión Nacional Eléctrica, INEL. Cienfuegos.

RESUMEN

En el trabajo se presenta, un estudio sobre la influencia de algunas variaciones en el coeficiente de intensidad de giro “ ζ ”, provocado por imprecisiones constructivas de los dispositivos aerodinámicos de los quemadores, sobre la aerodinámica de la llama, la eficiencia del proceso de combustión y en general sobre el funcionamiento de toda la instalación, además se presentan los resultados prácticos del trabajo aplicado en la unidad # 3 de la CTE “10 de Octubre” de Nuevitas.

Palabras claves. Quemador, turbulizador, torbellino, combustión, estabilización, zona de recirculación.

ABSTRACT

In this paper, a presentation is made of a study on the influence of some variations in the coefficient “ ζ ” of the turn intensity, caused by manufacturing inaccuracies in the burner aerodynamic devices on the flame aerodynamics, the efficiency of the combustion process and, in general, on the operation of the whole facility. Moreover, the practical results of the paper, applied to unit # 3 of the “10 de Octubre” thermal power plant in Nuevitas, are also presented.

Key words: Burner, swirler, whirl, combustion, stabilization, recirculation zone.

INTRODUCCIÓN.

La necesidad creciente de proteger al medio ambiente y al mismo tiempo lograr altos niveles de eficiencia en el empleo de los combustibles fósiles en la generación de potencia, ha hecho que las tecnologías de conversión termoquímica basadas en los procesos de combustión en llama, ocupen un lugar priorizado entre las tecnologías disponibles en la actualidad. En particular los quemadores de torbellino para la combustión eficiente del petróleo, han alcanzado un alto nivel de aplicación en la industria energética mundial, y su empleo va, desde pequeñas instalaciones, hasta las grandes centrales eléctricas basadas en las más modernas versiones del ciclo Rankine. Los esquemas de estabilización de la llama en los quemadores de torbellino, se logran a través de corrientes de aire giratorias cuya estructura ofrece grandes ventajas, tanto en la etapa de formación de la mezcla, como en el proceso posterior de intercambio de calor con los gases calientes, para lograr el mayor grado de completamiento de la reacción dentro del horno. Sin embargo la complejidad que caracteriza las estructuras de los chorros giratorios, requiere de una gran precisión constructiva en los dispositivos aerodinámicos utilizados para poner a girar las corrientes de aire, de lo cual dependen los resultados que se pueden esperar en un determinado diseño de quemador.

Desarrollo.

Los quemadores de torbellino basan su funcionamiento en las corrientes de aire giratorias, cuyo indicador aerodinámico fundamental es el coeficiente de intensidad de giro ζ o parámetro geométrico como también se le conoce. El valor de ζ caracteriza el proceso de las corrientes giratorias, a través de la relación entre el momento principal de la cantidad de movimiento relativo al eje de la corriente (M), y el vector principal de la cantidad de movimiento proyectado sobre el eje del quemador (K). De modo que el coeficiente de intensidad de giro se puede expresar de la siguiente forma:

$$\eta = 2,54 \frac{MD}{K}$$

Donde: D- diámetro de la garganta del quemador.

El ejemplo práctico que se utilizó en este trabajo para demostrar cómo influye el coeficiente ζ , en el funcionamiento de cualquier sistema de quemadores de torbellino, fue la unidad # 3 de la CTE "10 de Octubre" de Nuevitas. Esta unidad para generar 64 MW, dispone de seis quemadores (Fig. 1) que utilizan como dispositivo aerodinámico de estabilización, un turbulizador axial doble, ubicado en la boca de salida del quemador.

Como se puede observar en la Fig. 2 los turbulizadores axiales son concéntricos y están diseñados para lograr una determinada distribución turbulenta del aire en la zona de la boca del quemador, los dos turbulizadores ponen a girar el aire con diferente valor de ζ , lo cual se logra variando el ángulo de inclinación del alabe de cada turbulizador. Las corrientes de aire giratorias permiten intensificar el proceso de mezclado del aire con las partículas de combustible que conforman el aerosol y a determinados niveles de velocidad crean en la región cercana a la boca del quemador la denominada **zona de recirculación o de corrientes inversas**, que se produce como resultado de la acción de los esfuerzos friccionales que tienen lugar durante el movimiento de las corrientes de aire. Dentro de la zona de recirculación (especialmente en la raíz de la llama) se crea un movimiento de las corrientes inversas del aire y de los productos calientes de la combustión que alcanza un alto nivel de temperatura y permite estabilizar el proceso de combustión, tanto dentro de esta zona como en su frontera. Para cálculos prácticos los científicos han desarrollado expresiones empíricas en función de las características geométricas de los turbulizadores tanto para determinar el valor de ζ , como para obtener las dimensiones de la zona de recirculación y de la llama aerodinámica.

En las Fig. 3, Fig. 4, y Fig. 5 se presenta, un análisis sobre la incidencia del ángulo de inclinación del alabe del turbulizador axial de aire primario sobre el coeficiente ζ , las dimensiones de la zona de recirculación y el ángulo de apertura de la llama. Como se puede observar cualquier variación en el ángulo de inclinación del álabe del turbulizador modifica significativamente las características aerodinámicas de un determinado diseño, con incidencias negativas en la eficiencia del mezclado y por consiguiente en la eficiencia del proceso de combustión.

En el diseño de los quemadores de torbellino tiene que existir una alta compatibilidad entre las dimensiones de la zona de recirculación, las corrientes específicas de distribución del combustible en la sección transversal y las concentraciones de aire, para lograr un mezclado lo más cercano posible a las condiciones estequiométricas.

En la sustitución de los turbulizadores de los quemadores de una caldera por daños o deterioro de los mismos, es muy importante tener en cuenta que cualquier pequeño cambio en las dimensiones y en los ángulos de inclinación de los álabes, puede provocar afectaciones significativas en los indicadores de la central térmica. Además, se presentan también dificultades con el coeficiente de pérdidas locales \hat{i} , (Fig. 6), lo cual cambia la caída de presión a través de los quemadores ($\Delta P = \xi \left[\frac{u^2 P}{2} \right]$) y por consiguiente, el flujo de aire para la combustión.

Durante los años de explotación de la unidad # 3 de la CTE “10 de Octubre” de Nuevitas, en más de una ocasión fue necesario sustituir los turbulizadores de los quemadores, debido del deterioro que sufrieron los mismos al estar expuestos directamente a las altas temperaturas del interior del horno. Al no existir la documentación adecuada para la fabricación de los nuevos turbulizadores, su construcción fue aproximada, lo que dio lugar a desviaciones en los ángulos de inclinación de los álabes en el orden de 7 a 10° en ambos turbulizadores, que provocaron alteraciones en todo el esquema aerodinámico del diseño original de la unidad. La primera señal fue la falta de correspondencia entre el gráfico de comportamiento dado por el fabricante para la relación presión de la caja de aire vs. flujo de combustible (Fig. 7) y por consiguiente la falta de proporcionalidad de estos parámetros con la carga de la unidad. Esto trajo como consecuencia que se afectaran todos los parámetros de funcionamiento e indicadores de eficiencia de la unidad.

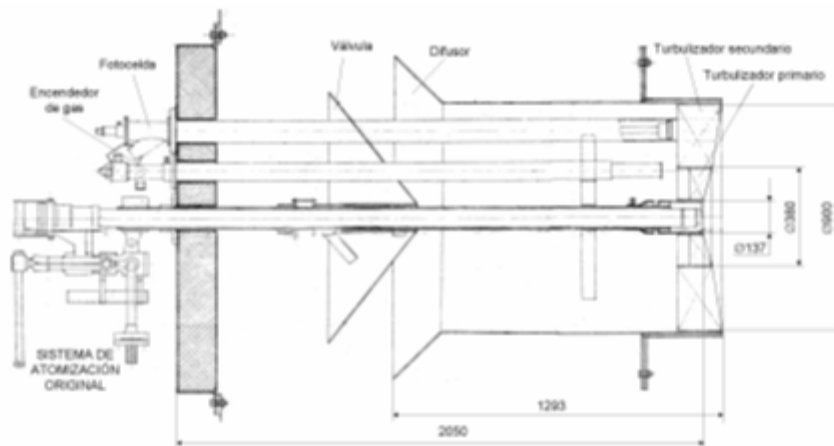


Fig. 1. Esquema general del quemador

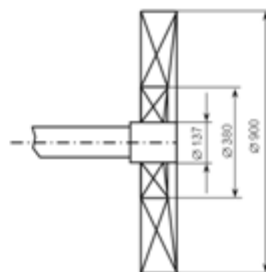


Fig. 2. Turbulizadores axiales del quemador

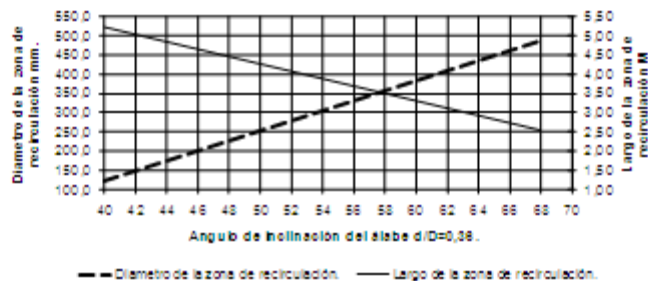


Fig. 3. Comportamiento de las dimensiones de la zona de recirculación con el ángulo de inclinación del álabe.

Para resolver el problema, se utilizó un software de fluidodinámica que permitió determinar con la exactitud requerida, el ángulo de inclinación de los álaves que se corresponde con los parámetros del diseño aerodinámico original de los quemadores y de este modo, fue posible restablecer la correspondencia con los datos de diseño de la unidad.

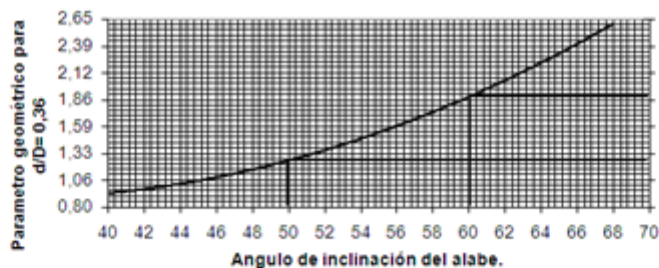


Fig. 4. Variación del parámetro geométrico con el ángulo de inclinación del álabe.

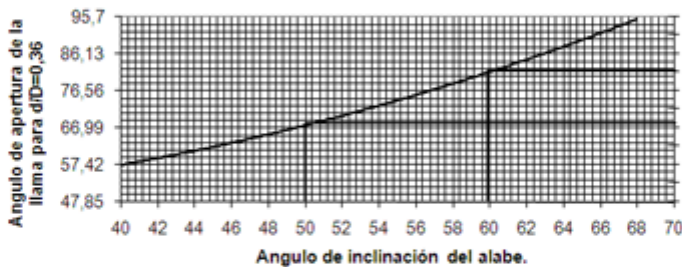


Fig. 5. Variación del ángulo de apertura de la llama con el ángulo de inclinación del álabe.

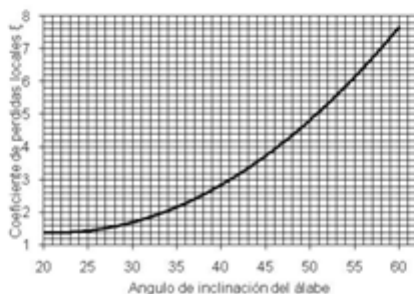


Fig. 6 Coeficiente ξ en función del ángulo de inclinación del álabe en los turbulizadores axial.

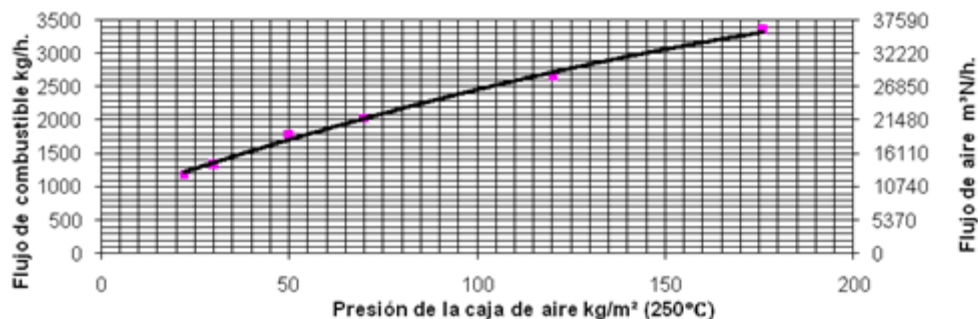


Fig. 7 Presión de la caja de aire en función del flujo de aire y combustible para $\alpha=1,02$.

Los resultados obtenidos en los cálculos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Resultados obtenidos.

Denominación	Turbulizador Primario	Turbulizador Secundario
Diámetro mayor (mm)	380	900
Diámetro menor. (mm)	140	395
Angulo de inclinación de los álabes (°)	60	46
Coefficiente de perdidas locales ξ	7,66	3,94
Parámetro geométrico. η	1,87	1,24
Angulo de apertura de la llama. (°)	81,6	67,0
Diámetro zona de recirculación. (m)	0,423	
Largo aerodinámico de la llama. (m)	3,69	

Además se determinaron las características de flujo y velocidad del quemador para la carga nominal (Tabla 2). De los cálculos se pudo comprobar que por el turbulizador primario pasan solo 12,7 % del flujo total de aire y el resto (87,2 %) por el secundario. Otro aspecto de interés que corrobora los resultados es que la razón de velocidades aire primario/aire secundario se corresponde con el rango recomendado para el diseño de quemadores de este tipo (1,33).

Tabla 2. Características de flujo y velocidad del quemador.

Parámetro	Aire primario	Aire secundario
Flujo de aire (m³N/s)	1,27	8,66
Velocidad del aire (m/s).	24	32

CONCLUSIONES

1. Pequeños cambios en la inclinación de los álabes de los turbulizadores axiales de los quemadores de torbellino, introduce alteraciones significativas en el coeficiente de intensidad del giro de las corrientes de aire, lo que trae consigo grandes afectaciones en la eficiencia del proceso de combustión y por consiguiente en el funcionamiento de las instalaciones industriales.
2. Los resultados de este trabajo permitieron restablecer los parámetros de funcionamiento del diseño original del sistema de quemadores de torbellino de la unidad # 3 de la CTE “10 de Octubre de Nuevitas”.

device equipped with a three-stage swirler.
[Volume 50, Number 4](#) pages 395-401 Aircraft and Rocket Engine Design and Development September 2007

FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

1. E. Canepa. Unsteady Aerodynamics of an Aeroengine Double Swirler Lean Premixing Prevaporizing Burner. J. Eng. Gas Turbines Power. January 2006. Vol 128 Issue 1, 29 (11pages)
2. FU, YONGQIANG. Aerodynamics and Combustion of *Axial Swirlers*; University of Cincinnati (2008). NDLTD Union Catalog (United State)
3. Rodríguez Arias A. D.; Rosabal Ponce Liz Belkis. Estudio Experimental sobre el funcionamiento del quemador France Thermique en su integración al horno de la caldera rusa BKZ-340-140/29M – Informe técnico Lab. de Combustión Cienfuegos 2001. (64 pags.)
4. Rodríguez Arias A. D.; Rosabal Ponce Liz Belkis; Martínez de Villiers P. B. Introducción a la Ingeniería de la Combustión –. Escuela Superior del MINBAS – 2001, (94 pags.).
5. Rodríguez Arias, A. D.; Rosabal Ponce, Liz Brkikis; Martínez de Villiers, P. B. Teoría y Práctica de los Procesos de Combustión. Combustibles Sólidos. Editorial ACADEMIA 453 pag. Ciudad de La Habana. Cuba. 2000.
6. Rosabal Ponce Liz Belkis. Turbulizadores Rotatorios para la estabilización eficiente de llamas en torbellino. Tesis Doctoral Año 2006 UCLV
7. V. V. Tret'yakov Calculation of fuel distribution in the combustion chamber front