

SIMULACION NUMERICA DEL CAMPO DE TEMPERATURAS DE UNA CALDERA PARA EL QUEMADO DE BIOMASA

R. Mut Benítez*, P. Beatón Soler**, J. Marín Antuña***, E. Sánchez Oliver* y P. Alvarez Amargós*

*Dpto. de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente

**Centro de Estudio de Eficiencia Energética, Fac. de Ing. Mecánica, Universidad de Oriente

***Dpto. de Física, Facultad de Física, Universidad de La Habana

RESUMEN

El trabajo presenta un procedimiento capaz de predecir los regímenes aerodinámicos y térmicos de hornos para el quemado de biomasa en suspensión. El modelo se utilizó en la simulación de una caldera cubana Reto CV25/18 y se realizaron variaciones en los ángulos de las toberas para investigar su influencia en el funcionamiento de la cámara de combustión.

ABSTRACT

This paper presents a procedure to predict the velocities and temperature fields in furnaces for burning bagasse in suspension. This model was used on the simulation of a boiler Reto CV25/18 and a study was made in order to investigate the influence of angles of the jets on its operation.

INTRODUCCION

Los hornos de quemado de bagazo son de interés en Cuba por la cantidad que están en funcionamiento y el volumen de producción de esta biomasa. En ellos se busca aumentar la eficiencia y con este objetivo se han desarrollado muchas variantes de éstos. Junto a los diseños también se han realizado, fundamentalmente, estudios experimentales de los procesos básicos que ocurren en ellos [11-12].

La simulación numérica de hornos es un método establecido desde mediados de la década del 1970 [1] y entre lo más representativo se encuentran los trabajos de Abbas y Lookwood [2], Boyd y Kent [3], Gomer y Zinser [4] y Fiveland y Wessel [5]. Con la importancia creciente de la protección ambiental, también se incluyen modelaciones de la formación de óxidos de nitrógeno [6,7]. Todos los trabajos citados estudian hornos con carbón pulverizado como combustible y en la literatura no son abundantes los que utilizan bagazo.

Este trabajo presenta un modelo para el estudio numérico de los regímenes aerodinámico y energético de la caldera de quemado de bagazo en suspensión Reto CV25/18. El modelo es aplicable a cualquier geometría tridimensional y se consideran los fenómenos de difusión y convección en el fluido. La combustión se modela a través de fuentes de calor en las zonas donde con mayor probabilidad ocurre. El estudio permite relacionar la aerodinámica del horno con el campo de temperaturas. También se realiza un experimento numérico para ver la influencia de los ángulos de las diferentes toberas.

FORMULACION MATEMATICA

a) El flujo de gas es descrito por las ecuaciones de conservación de la masa, momento y entalpía.

La conservación de la masa para un fluido incompresible en el caso estacionario viene expresada por la ecuación de continuidad

$$\nabla(\rho\vec{v}) = 0 \quad (1)$$

* e-mail: rmut@csd.uo.edu.cu
rmut@rect.uo.edu.cu

** e-mail: pbeaton@rect.uo.edu.cu

*** e-mail: marin@ff.oc.uh.cu

donde ρ es la densidad del fluido.

La ecuación para la componente x del momento es

$$\nabla \cdot (\rho \bar{u}u) = \nabla \cdot (\mu \nabla u) - \frac{\partial p}{\partial x} - B_x + V_x \quad (2)$$

donde u es la velocidad en x , μ es la viscosidad, p la presión, B_x la fuerza volumétrica en x , y el último término contempla las fuerzas viscosas no incluidas en el primer término de la derecha. Ecuaciones similares se tendrán para las restantes coordenadas.

La conservación de la energía se describe por la ecuación

$$\nabla \cdot (\rho \bar{v}T) = \nabla \cdot \left(\frac{k}{C_p} \nabla T \right) + S_h \quad (3)$$

C_p es el calor específico a presión constante, k es la conductividad térmica, T la temperatura y S_h representa las fuentes de calor.

b) El modelo de turbulencia utilizado como clausura es el de dos ecuaciones $k-\epsilon$. Las constantes del modelo son las sugeridas por Launder y Spalding [8].

EL HORNO

La Figura 1 muestra un esquema del horno cuyas dimensiones son $3,97 \times 4,00 \times 10,00$ m. Inicialmente diseñado para el quemado en parrilla, se modificó para formar un torbellino horizontal donde combustiona la mayor parte de las partículas de bagazo que ingresan al horno a través del alimentador, aunque cierta fracción de ellas, las más finas, logran atravesar "la cortina" que provoca la tobera frontal y se quema en el recorrido hacia la salida; las más pesadas caen hacia la zona inferior del torbellino. La combustión total del bagazo en el recinto depende fuertemente de la posición y estructura del torbellino que se forme, la composición del bagazo y del régimen turbulento establecido [9].

LA SOLUCION NUMERICA

Las ecuaciones se discretizaron utilizando diferencias finitas e integradas con la ayuda del enfoque de volúmenes de control. Se utilizó el esquema híbrido que combina los esquemas de upwind y diferencias centrales en dependencia del número de Peclet local de la celda de cálculo. Las ecuaciones se resolvieron numéricamente con el

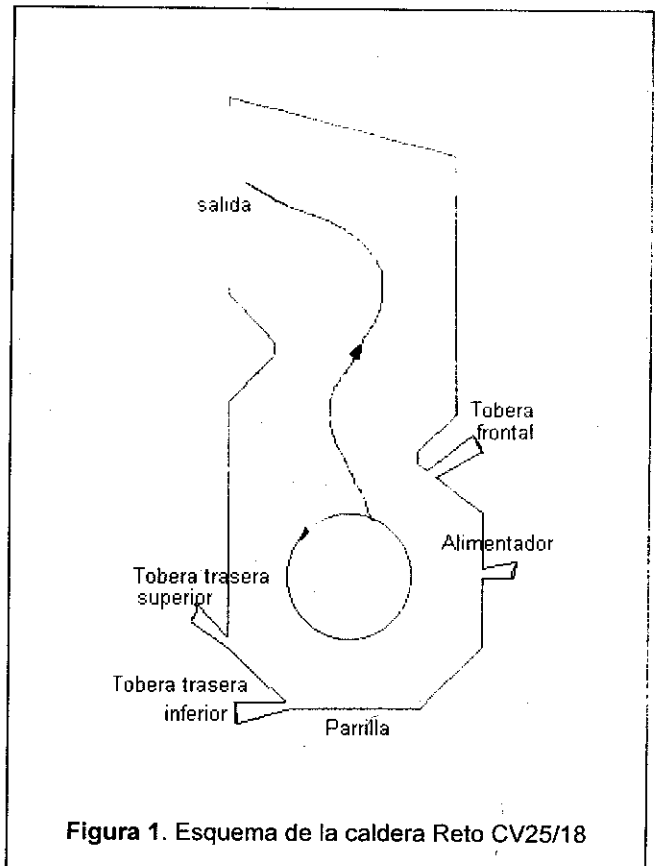


Figura 1. Esquema de la caldera Reto CV25/18

algoritmo SIMPLE [10], un esquema computacional iterativo muy robusto y ampliamente utilizado.

Las condiciones de frontera en las fronteras del horno fueron de Ley de la pared [8] y la velocidad en la salida del horno se calcula a través de un balance total de masa. La temperatura en las paredes se tomó constante pues el interés fundamental está en la influencia del campo de velocidades en la distribución de temperaturas en la zona del torbellino.

Los cálculos se realizaron con la rejilla mostrada en la Figura 2 de $5 \times 20 \times 50$ (5000) nodos con coordenadas fijas a la frontera utilizando un procesador Pentium (166Mhz) que permite una velocidad de aproximadamente dos iteraciones por minuto.

LA INVESTIGACION NUMERICA

Existen trabajos donde se estudia de forma experimental la caldera Reto CV25/18 modificada [11] y otros en que se discuten algunas mediciones de sus campos de velocidades y temperaturas [12].

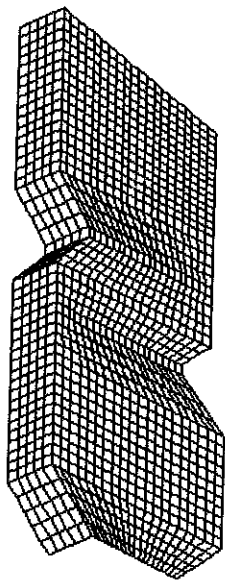


Figura 2. La rejilla utilizada

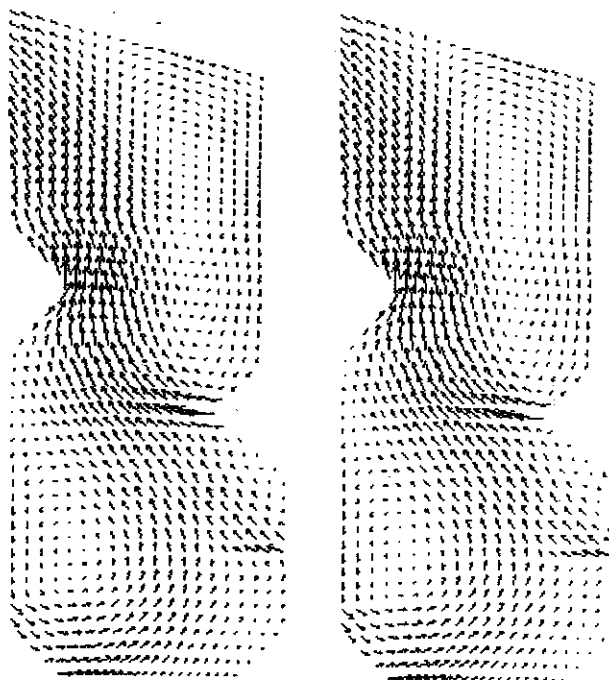


Figura 3. Campos de velocidades paralelos a la pared lateral. En el centro y junto a la pared respectivamente.

Los cálculos incluidos en este trabajo constituyen un estudio teórico con dos objetivos fundamentales: demostrar la aplicabilidad de este método numérico en estas calderas e investigar la influencia del régimen aerodinámico en la distribución de temperaturas. Esto último se realiza variando el ángulo de la tobera trasera inferior en 5° con respecto a la horizontal.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 3 se pueden observar los campos de velocidades del caso base para los planos paralelos a la pared lateral correspondientes a la pared y al centro del horno. Como era de esperar, debido a no ser suficientemente fina la rejilla en esa dirección no se aprecian los efectos de la pared y los campos son muy similares, lo que justifica los estudios bidimensionales con el consiguiente ahorro de esfuerzo computacional para rejillas de estas dimensiones. Son detalles importantes de los campos de velocidades mostrados, el torbellino principal en la parte trasera e inferior del horno y otro sobre el tabique frontal, así como la circulación que

se observa diagonalmente desde el alimentador hasta la salida del horno. Los correspondientes perfiles de temperaturas adimensionales se muestran en la Figura 4. En ambos se muestran las mismas isotermas, en número de nueve, correspondiendo el mayor valor al del centro. Se observa que en el plano central están más concentradas, es decir, el gradiente de temperatura es mayor y esto es explicable porque, al ser la temperatura de las paredes mayor que la del aire que entra a través de la tobera frontal y el alimentador, el fluido más cercano a las paredes se calienta más que el del centro. La zona de más altas temperaturas se encuentra desplazada hacia la parte trasera del horno.

En la tobera trasera inferior se disminuyó el ángulo en 5° con respecto a la horizontal y se obtuvo en el plano central un desplazamiento del núcleo de la llama hacia el centro, en una longitud de un 10 % de la distancia entre las paredes frontal y trasera (Figura 5) y hay una distribución más homogénea de las temperaturas, que garantiza un mayor isotermismo del horno, lo que favorece un mejor

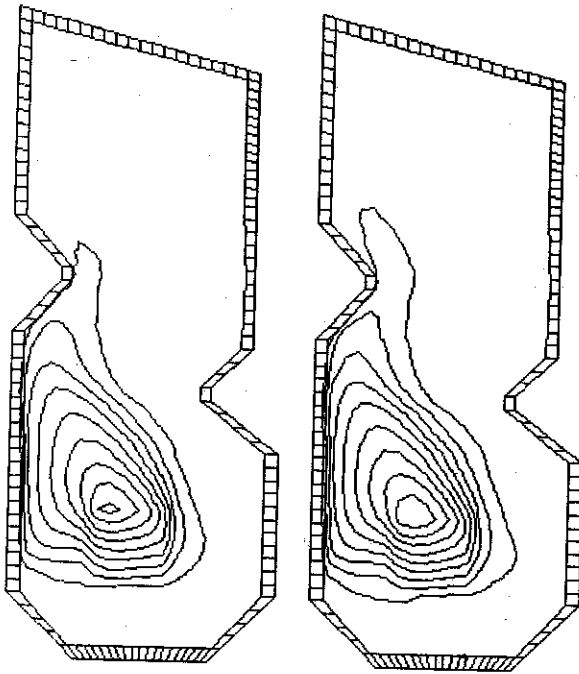


Figura 4. Campos de temperaturas correspondientes a la Figura 3.

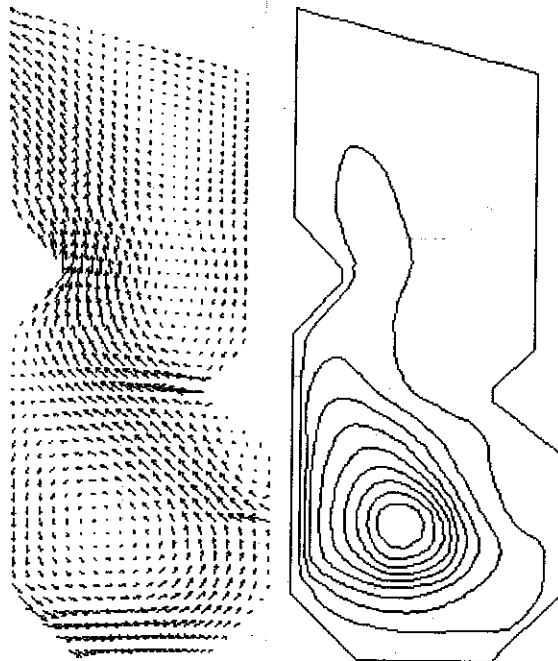


Figura 5. Campo de velocidades y temperaturas para un ángulo de la tobera trasera inferior de 5° menor que en la Figura 3

desarrollo de la combustión en la zona central del horno. También se aumentó el flujo a través de la parrilla en un 5% con respecto al caso base y se obtuvo que el torbellino se estrecha y acerca a la pared trasera (Figura 6). Aunque esta última investigación no presenta mucha utilidad práctica, por lo difícil de controlar el flujo de

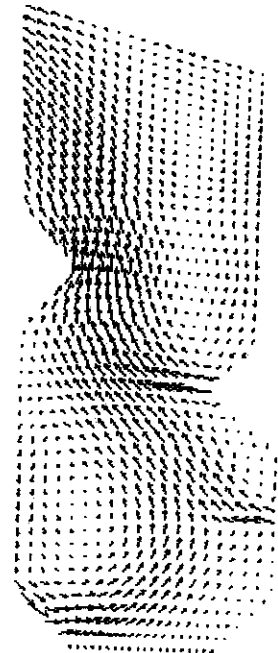


Figura 6. Campo de velocidades para velocidad de la parrilla un 5% mayor que en la Figura 3.

la parrilla, permite corroborar la sensibilidad del esquema numérico, demostrándose la influencia del ángulo de esta tobera en la localización del núcleo del torbellino.

CONCLUSIONES

El modelo numérico presentado permite el cálculo tridimensional del régimen aerodinámico y energético de hornos de quemado de bagazo en suspensión. El método se empleó en la predicción de estos campos de la caldera Reto CV25/18. El esquema permite estudiar la influencia de diferentes parámetros en los campos de velocidades y temperaturas.

El modelo desarrollado reproduce razonablemente los patrones de flujo y temperatura reportados por Brito et al. [12] por lo que constituye una herramienta útil para el diseño de estos hornos.

REFERENCIAS

1. RIETCHER, W. and G. FLEISCHHANS (1976): "Theoretical study of the effect of fuel, burner and furnace parameters on the behavior of enclosed non-swirling anthracite of lames". **International Flame Research Foundation Report**, F 24/ga/12.
2. ABBAS, A.S. and F.C. LOOCKWOOD (1986): "Prediction of power station combustors". 21th Symp (Int.) on Combustion. The combustion Institute, 285-292.
3. BOYD, C.T. and J.H. KENT (1986): "Three dimensional furnace computer mode modelling". 21th Symp (Int.) on Combustion. The combustion Institute, 285-292.
4. GORNER, K. and W. ZINSER (1988): "Prediction of three-dimensional flows in utility boiler furnaces and comparison with experiments". **Combustion Science and Technology**, 58 :43-57.
5. FIVELAND, W. and A. WESSEL (1988): "Numerical model for predicting performance of three-dimensional pulverized-fuel fired furnaces". ASME, **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, 110 :117-126.
6. KJLDMANN, L. (1993): "Numerical simulation of combustion and nitrogen pollutants in furnaces". PhD thesis, Helsinki Univ. of Techn.
7. COELHO, P.J. and M.G. CARVALHO (1993): "Mathematical modelling of NO formation in a power station boiler. 2nd Int. Conference on combustion technologies for a clean environment, 1.
8. LAUNDER, B.E. and D.B. SPALDING (1974): "The numerical computation of turbulent flows". **Computer Methods in Applied Mechanics and Eng.**, 3, 269-289.
9. BALLESTER, J.; N. FUEYO and C. DOPAZO (1996): "Influence of Operational Parameters on the Results of Reburning in Coal Combustion", in **Combustion Technologies for a Clean Environment**, Edit Prof. Scott Samuelsen Gordon and Breach.
10. PATANKAR, S. V. (1980): "Numerical Heat transfer and Fluid Flow". Hemisphere Publishing Co., N.Y.
11. RECIO, R. A. (1986): "Caracterización mediante técnicas de modelación del horno de la caldera Reto CV25/18". Tesis de Doctorado. Univ. de Oriente.
12. BRITO SAUBANEL, A. (1998): Investigación de los regímenes térmicos, aerodinámicos y de concentración de gases en el horno de la caldera Reto CV-25-18 remodelada para la combustión de bagazo en torbellino horizontal. Tesis de Doctorado. Universidad de Oriente.