

COCINAS EFICIENTES UNA ALTERNATIVA ENERGETICA Y ECOLOGICA PARA LA COCCION DE ALIMENTOS.

M.Sc. Luis Zamora González* zamora@udg.co.cu

Dr. Bienvenido Sarria López *

Ing. Yusleidis Cisnero Reyna**

Ing. Carlos Rodríguez ***

* Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos

** Fac. Ingeniería. Universidad de Granma. *** ECTA "26 de Julio Granma"

PAIS: CUBA

RESUMEN

El estudio este trabajo se llevó a cabo en la Unidad Docente de Cayo Redondo perteneciente a la Facultad de Mecanización Agropecuaria de la Universidad de Granma (UDG). El mismo forma parte de un estudio que se lleva a cabo en la ECTA "26 de Julio" de Bayamo en cooperación con la Facultad de Ingeniería de la UDG, en donde se pretende establecer los parámetros térmicos, aerodinámicos e hidrodinámicos de las cocinas eficientes, así como la realización de una serie de modificaciones para la elevación de la eficiencia integral de los mismos, teniendo en cuenta los aspectos ambientales y económicos. En esta primera parte del trabajo el objetivo general trazado fue evaluar desde el punto de vista térmico, aerodinámico e hidrodinámico el proceso de combustión de la leña y la cáscara de arroz en dicha cocina eficiente. Para la realización del mismo se tomaron como base de datos las necesidades energéticas en cuanto a biomasa se refiere (leña y Cáscara de arroz) para la cocción de alimentos de esta dependencia, y a partir de estos datos primarios, se procedió; con ayuda de una metodología propuesta para ello, a los cálculos correspondientes de la cocina eficiente con vista a poder producir el mismo en correspondencia con las necesidades del cliente. El método utilizado fue el analítico de cálculo combinado con el experimental. Como resultado se puede decir que el consumo de combustible (leña y cáscara de arroz) para la cocción de alimento para 60 comensales es de 0.085 y 0.16 kg/h respectivamente. El flujo de aire para la combustión, así como el flujo de gases es de 0.05 y 0.26 m³/s respectivamente, y la potencia térmica del quemador para garantizar la cocción de alimento para una cantidad de comensales determinada (20 a 60) debe de estar en un rango de 27.5 a 110 kW (máxima y mínima).

I. INTRODUCCIÓN

En el discurso pronunciado por el Presidente de la República de Cuba, Fidel Castro Ruz, en la XIII Conferencia de Jefes de Estado o Gobierno del Movimiento de Países No Alineados, Kuala Lumpur, Malasia, 25 de febrero de 2003 planteó: “En sólo 150 años se habrán agotado el gas y el petróleo que el planeta tardó 300 millones de años en acumular. La humanidad en sólo 100 años creció de aproximadamente 1 500 millones a más de 6 000 millones de habitantes. Tendrá que depender por entero de fuentes de energía que aún están por investigar y desarrollar. La pobreza crece; viejas y nuevas enfermedades amenazan con aniquilar naciones enteras; la tierra se erosiona y pierde fertilidad; el clima cambia, el aire, el agua potable y los mares están cada vez más contaminados” “[5].

En los últimos años del siglo XX la humanidad tomó conciencia del rápido agotamiento de los combustibles fósiles, de los peligros de la contaminación ambiental (cambios climáticos) y de la necesidad de mejorar todos los procesos de conversión energética (ahorro energético) y en la potenciación del uso de las energías renovables como recursos energéticos a largo plazo, Se plantea entonces por primera vez el concepto de desarrollo sostenible y en particular a lo que energía se refiere y fue en 1987 cuando la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, definió el desarrollo sostenible como aquel que satisfaga las necesidades del presente sin limitar las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer las suyas [2; 9; 43].

Se entiende como biomasa toda aquella materia orgánica que procede directa o indirectamente de la energía solar fijada en la tierra mediante el proceso de fotosíntesis. De hecho, la biomasa ha sido la base del suministro energético en épocas pasadas y aún lo sigue siendo en culturas poco evolucionadas.

En la actualidad se vuelve a la biomasa buscando soluciones energéticas eficientes que permitan nuevas concepciones económicas de su aprovechamiento para obtener una serie de beneficios entre los que se encuentra la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera, fundamentalmente de CO₂, causante del efecto invernadero y SO₂ de la lluvia ácida. En efecto, el balance de producción de CO₂ se estima es nulo, ya que el carbono liberado a la atmósfera ha tenido que ser previamente fijado de ésta en el proceso de la fotosíntesis y en cuanto al SO₂, el nivel de contenido de azufre es bajísimo [4, 43].

Como aproximación puede decirse que la biomasa sólida se puede destinar a aplicaciones térmicas más o menos convencionales, la biomasa en forma líquida se destinaría a su utilización en motores de vehículos y los derivados gaseosos de la biomasa a la producción de electricidad en sistemas de cogeneración.

Las aplicaciones domésticas e industriales que pueden considerarse tradicionales o habituales son las que funcionan mediante la combustión directa de la biomasa. En este caso no parece que vayan a registrarse importantes variaciones, aunque si es factible la introducción de avances tecnológicos y la incorporación de elementos técnicos que faciliten el uso de la biomasa en estos ámbitos y el rendimiento de los equipos.

En otro grupo podrían incluirse aplicaciones más recientes, vinculadas a la aparición de nuevas técnicas de transformación que últimamente han alcanzado un cierto grado de madurez; entre las nuevas tecnologías disponibles puede citarse como fórmula más destacable la gasificación de la biomasa, que permite utilizarla en centrales de cogeneración de ciclo combinado.

En las actividades agrícolas, ganaderas y forestales se genera una cierta cantidad de residuos o subproductos que unido a los generados en los procesos de las industrias agrícolas y agroalimentarias son las principales generadoras de residuos ya que en muchas ocasiones son realmente materias primas que encuentran aplicaciones en otras industrias o en la propia que se genera.

Si la quema de biomasa se realiza con eficiencia, mediante el perfeccionamiento de la aerodinámica del proceso de combustión y se aprovecha al máximo posible el calor contenido en los gases, una vez que estos han abandonado la zona de combustión de los quemadores, la eficiencia térmica general obtenida cuando se utiliza este tipo de combustible para satisfacer la demanda de calor del proceso de cocción tradicional debe aumentar de manera apreciable. Todo esto debe manifestarse en dos formas tangibles: reducción en el consumo de biomasa y reducción de los costos de fabricación y operación del sistema de combustión. Este trabajo de curso forma parte de las investigaciones de Grupo de Investigación y Desarrollo de La Energía y el Medio Ambiente (GIDEMA) de la Universidad de Granma, en particular de la búsqueda del mejoramiento del diseño térmico de quemadores de biomasa, para mejorar y/o eliminar las insuficiencias existentes en los quemadores actuales en su proceso de fabricación.

En esta dirección está enfocado el trabajo, donde el **problema científico** es el siguiente: El análisis integral de los aspectos energéticos, aerodinámicos e hidrodinámico; así como el económico y el ambiental de una cocina eficiente que actualmente se utiliza para la cocción de alimentos, no se han realizado aún.

En función de resolver el problema científico antes expuesto se formula la siguiente **hipótesis del trabajo**:

La realización de los cálculos térmicos, aerodinámicos e hidrodinámicos, así como el balance energético, para diferentes tipos de combustibles sólidos, unido al análisis económico y ambiental, puede ser el procedimiento para predeterminar las ventajas de

una cocina eficiente para la cocción de alimentos, con relación a las tecnologías que se emplean actualmente para este propósito.

Teniendo en cuenta el problema científico y la hipótesis antes mencionada el **objetivo general** que persigue este trabajo es el siguiente:

Caracterizar desde el punto de vista térmico, aerodinámico e hidrodinámico; así como económico y ambiental, de una cocina eficiente, cuando se combustiona leña, cáscara de arroz y aserrín para la cocción de alimentos en la Unidad Docente de Mecanización de la Comunidad Cayo Redondo.

II. DESARROLLO

2.1 Cocina eficiente.

2.1.1. Descripción del funcionamiento.

A diferencia del fogón de biomasa y de otras cocinas tradicionales este puede combustionar combustible sólidos, líquidos y gaseosos en cámara cerrada, entre los sólidos cualquier tipo de biomasa de aquí su nombre (**ver anexo 1**). El combustible fraccionado (cáscara de arroz, aserrín, bagacillo y otros), se encuentra en el depósito (5), este se suministra al interior del quemador a través del conducto de entrada del combustible (6) mediante un tornillo sinfín que es accionado manualmente.

El aire necesario para la combustión viaja a través del conducto principal (8) del aire que es impulsado por el VTF hacia el conducto de salida del aire (11) al quemador. Los gases productos de la combustión son obligados a salir por el conducto (2) hacia la chimenea (3); la ceniza se extrae manualmente por el canal rectangular (7).

Aspectos positivos:

1. Cámara Cerrada.
2. Combustión más completa del combustible.
3. Un contacto más íntimo entre el aire y el combustible (volátiles).
4. Flujo ordenados de los gases productos de la combustión hacia la atmósfera.
5. Suministro de combustible más uniforme al quemador.
6. Mayor aprovechamiento del calor contenido en los gases.
7. Combustión de cualquier tipo de combustible.

Los residuos generados en el proceso de fabricación de productos de madera se emplean para generar energía térmica en forma de agua caliente o de aceite térmico, que permiten satisfacer las necesidades energéticas de las instalaciones industriales y, al mismo tiempo, proporcionan energía al proceso de fabricación. Los residuos revalorizados en

estos proyectos son fundamentalmente: serrín, virutas, polvo de lijado y astillas, procedentes de distintos árboles (pino, roble y árboles tropicales: iroko y sapelli, entre otros).

2.2. Materiales y métodos.

2.2.1. Descripción General.

El estudio se llevó a cabo en la Unidad Docente Cayo Redondo perteneciente a la Facultad de Mecanización Agropecuaria de la Universidad de Granma (UDG). El mismo forma parte de un estudio que se lleva a cabo en la ECTA "26 de Julio" de Bayamo en cooperación con la Facultad de Ingeniería de la UDG, en donde se pretende establecer los parámetros térmicos, aerodinámicos, hidrodinámicos, económicos y ambientales de la cocina eficiente.

El método utilizado fue el analítico investigativo. Se realizaron una serie de mediciones en función de determinar y/o calcular los parámetros reales durante el funcionamiento del Quemador cuando se utiliza leña, cáscara de arroz y aserrín. Estos fueron:

Consumo de combustible (B).

Flujo de aire para la combustión (Q_a)

Tiempo de cocción (T_c) (desayuno, almuerzo y comida)

Temperatura de los gases de escape (T_g)

Temperatura de la cámara de combustión (T_{cc})

Temperatura de los alimentos (T_a)

Temperatura de las paredes del QIB (T_p)

Temperatura de la ceniza (T_{cz})

Instrumentos utilizados:

1. Analizador de gases ORSAT: es un equipo analítico que permite determinar el contenido de oxígeno, el dióxido del carbono y monóxido de carbono.

2. Termómetro digital Kane Maye: para medir la temperatura con grado de resolución de $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para dos dígitos y de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para tres, sonda PT 1000. Con rango de medición temperatura de (-25 a $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3. Una balanza digital Bonso Modelo 200 S con grado de precisión de 0.1 g para dos dígitos y de 1 g para tres. Con un rango de medición de 1 a $2\ 000\text{ g}$.

Las pruebas se realizaron por un equipo de expertos del CIDTEMA (Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Energéticas y el Medio Ambiente) de la Universidad de Granma.

2.2.4. Metodología de cálculo de la cocina eficiente.

Cálculo térmico.

1. Energía útil necesaria (Eu).

Según la bibliografía consultada para la cocción de alimentos se necesita 4.5 kW / día-Familia (familia de 4 personas) por lo que una persona necesita en un día 1.125 kWh y para efectuar una comida $E_u = 0.45 \text{ kWh}$.

2. Energía útil Necesaria (Euc) para la cantidad de comensales en cuestión.

$$E_{uc} = E_u \cdot C_c$$

$$E_{uc} = 27 \text{ kWh}$$

$$E_u = 97120 \text{ kJ}$$

$$E_u = 23200 \text{ kcal.}$$

Donde:

C_c - Cantidad de comensales 60.

3. Consumo de combustible (B).

$$B_l = \frac{E_{uc}}{VCI_L \cdot \eta_L} \quad (\text{kg}) \quad 1$$

Dónde:

η -Eficiencia del uso final de la energía, en fracción.

VCI – Valor Calórico Inferior, en kcal/kg.

4. Potencia térmica del quemador (Qt).

$$Q_t = \frac{B_c}{VCI} \quad (\text{kW}) \quad 2$$

Potencia térmica máxima real del quemador (Q_{trmax})

$$Q_{tr \text{ max}} = \frac{Q_{tL} + Q_{tCA}}{2} \quad (\text{kW}) \quad 2.1$$

Potencia térmica mínima del quemador (Q_{tr})

Margen de regulación 1:5

$$Q_{tr \text{ min}} = 0.2 \times Q_{tr \text{ max}} \quad (\text{kW}) \quad 2.2$$

Potencia térmica nominal del quemador (Q_{trn})

$$Q_{trn} = \frac{Q_{tr \text{ max}} + Q_{tr \text{ min}}}{2} \quad (\text{kW}) \quad 2.3$$

5. Volumen del Quemador (Vu).

$$V_u = \frac{Q_t}{Q_e} \quad (\text{m}^3) \quad 3$$

Donde:

Qe - Tasa de liberación de energía, en kW/h (de 120 a 580 kW/h)

Cálculo aerodinámico.**6. Necesidad de aire para la combustión(V).**

Teórico(Vo)

$$V_o = 0.0889(C^+ + 0.375 S^+) + 0.265 H^+ - 0.033 O^+ \quad (\text{m}^3) \quad 4$$

Composición química de la leña.

Análisis completo, base seca y libre de ceniza, en %.

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| C ^t = 47.7 | N ^t = 0.26 |
| H ^t = 5.8 | O ^t = 41.0 |
| S ^t = 0.0 | W ^t = 30.0 |

Composición química de la cáscara de arroz.

Análisis completo, base seca y libre de ceniza, en %:

| | |
|-------------------------|------------------------|
| C ^t = 49,38% | S ^t = 0.09% |
| H ^t = 6,42% | N ^t = 0.65% |
| O ^t = 41,53% | |

Composición química del aserrín.

Análisis completo, base seca y libre de ceniza, en %:

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| C ^t = 51% | S ^t = 0.1% |
| H ^t = 8.6% | N ^t = 1.2% |
| O ^t = 39% | |

Selección del coeficiente de exceso de aire (α).

Para sólidos el coeficiente de exceso de aire se encuentra en el rango de (1.15 a 1.25), pero se recomienda utilizar $\alpha = 1.35$ porque la mezcla no es rica en combustibles.

7. Flujo de aire (Qa).

$$Q_a = B \times V_a \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad 5$$

Cálculo Hidrodinámico.**8. Volumen de los gases (Vg) (m³ N/kg) 6**

Volumen de gases triatómicos.

$$V_{rO_2} = 1.866 \frac{C^t + 0,375 S^t}{100} \quad 6.1$$

Volumen teórico de nitrógeno.

$$V_{N_2}^o = 0.79 Va^o + \frac{0.8N^t}{100} \quad 6.2$$

Volumen teórico de vapor de agua:

$$V_{H_2O}^o = 0.111 H^t + 0.124 W^t + 0.032 Va^o \quad 6.3$$

Volumen teórico de gases de salida.

$$V_{gs}^o = V_{N_2} + V_{rO_2} \quad 6.4$$

Volumen real de los gases secos:

$$V_{gs} = V_{gs}^o + (\alpha - 1) Va^o \quad 6.5$$

Volumen real de agua:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0.032 (\alpha - 1) Va^o \quad 6.6$$

Volumen real de los gases:

$$Vg = V_{gs} + V_{H_2O} \quad 6.7$$

9. Flujo de gases(Qg).

$$Qg = Vg \cdot B \quad (m^3/s) \quad 7$$

10. Densidad de los gases(ρ_g) a temperatura de 0^o C y a presión de 101.3 kpa.**11. Densidad del aire exterior (ambiente) (ρ_a)**

$$\text{a } 32^{\circ}\text{C la } \rho_a = 1.165 \text{ kg/m}^3$$

Nota: Caída de temperatura media a lo largo del canal $C = 3^{\circ}\text{C/m}$.Temperatura de salida de los gases $T_{sg} = 300^{\circ}\text{C}$.

Las pérdidas de presión en el canal horizontal están formadas por las pérdidas por fricción y las pérdidas por resistencia locales en la entrada de este canal (ensanchamiento o estrechamiento).

b) Velocidad media de los gases del combustible en el canal horizontal a 0 °c y a 101.3 kPa.

d) La densidad y velocidad de los gases de combustión en el canal horizontal a la temperatura media.

e) Diámetro hidráulico del canal horizontal (DHh).

$$DHh = \frac{4S_2}{P} \quad (\text{m}) \quad 8$$

Donde:

P - Perímetro de la sección transversal del canal, m.

S₂. Superficie de la sección transversal del canal horizontal, en m²

f) Pérdidas por fricción (P_{fricc}) tomando el coeficiente de fricción.

Coeficiente de fricción $\lambda_{fricc} = 0.04$ (canales metálicos).

$$\Delta P_{fric} = \lambda_{fricc} \left[\frac{Lc}{DHh} \right] \left[\frac{\rho_g \cdot V_{med}^2}{2} \right] \quad (\text{Pa}) \quad 9$$

g) Pérdidas por resistencia local (ΔP_{Loch}).

$$\Delta P_{Loch} = \xi_0 \left[\frac{V^2 \cdot \rho_g}{2} \right] \quad (\text{Pa}). \quad 10$$

Donde:

ξ_0 - Coeficiente de resistencia local

$\xi_0 = 0.81$ Ensanchamiento.

$\xi_0 = 0.42$ Estrechamiento.

Canal Vertical

a) Velocidad media de los gases a 0 °c. y 300 °c.

$$V_{med} = \frac{Q_{g_L}}{S_3} \quad (\text{m/s}) \quad 11$$

Donde:

S₃ - Sección del canal vertical, en m.

b) Temperatura media (Tm) del canal vertical.

$$T_m = \frac{(T_{sg} - C(Lc) + T_{mh})}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad 12$$

c) Velocidad media y densidad a la Tmv.

$$\rho_{gv} = \frac{\rho_g}{1 + \frac{Tm_v}{273}} \quad (\text{kg/m}^3) \quad 13$$

$$Vmed_v = Vmed \left(1 + \frac{Tm_v}{273}\right) \quad (\text{m/s}) \quad 14$$

d) Diámetro hidráulico del canal vertical(DHv).

$$DHv = \frac{4 \cdot S_3}{P} \quad (\text{m}) \quad 15$$

e) Pérdidas por fricción (ΔP_{fricc}).

$$\Delta P_{fricc} = \lambda_{fricc} \left(\frac{Lc}{DHv} \right) \left(\frac{\rho_g \cdot Vmed^2}{2} \right) \quad (\text{Pa}). \quad 16$$

12. Pérdidas totales (ΔP_T)

Para los cálculos hidrodinámicos interesa el combustible que provoque mayor resistencia en los conductos en este caso la leña.

$$\Delta P_T = 2(\Delta P_{fricch}) + \Delta P_{Loch} + \Delta P_{fricv} + \Delta P_{Locv} \quad ; \quad (\text{Pa}). \quad 17$$

13. Dimensiones de la chimenea.

Altura de la chimenea (Hs).

$$\Delta P_T = Hs(\rho_a - \rho_g) \quad (\text{Pa}). \quad 18$$

Despejando obtenemos:

$$Hs = \frac{\Delta P_T}{(\rho_a - \rho_g)} \quad (\text{m}) \quad 19$$

Diámetro de la chimenea (Dch).

$$Dch = \frac{Hs}{(20a30)} \quad (\text{m}) \quad 20$$

Sección transversal de la chimenea (Sch).

$$Sch = \frac{Qg_T}{Vsal} \quad (\text{m}) \quad 21$$

Donde:

Qg_T - Flujo total de salida; $Vsal$ es la velocidad de salida de los gases se asume 3.5 m/s.

$$Dch = \sqrt{\frac{4 \cdot Sch}{\pi}} \quad (\text{m}) \quad 22$$

Velocidad real de los gases(V_{rg}).

$$V_{rg} = V_{sal} \left[1 + \frac{T_{sal}}{273} \right] \text{ (m/s) } 23$$

Temperatura media (T_{med}) de los gases que pasan a través de la chimenea.

$$T_{med} = \frac{T_{en} + T_{sal}}{2} \quad (^\circ\text{C}). 24$$

$$S_{med} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ (m) } 25$$

Velocidad media (V_{med}) de los gases para 0°C y para 101.3 kPa.

$$V_{med} = \frac{Qg}{S_{med}} \text{ (m) } 25$$

Densidad real de los gases para $T_{med} = 288.75^\circ\text{C}$.

$$\rho_g = \frac{\rho_g}{1 + \frac{T_{med}}{273}} \text{ (kg/m}^3\text{) } 26$$

Velocidad media real de los gases para $T_{med} = 288.75^\circ\text{C}$.

$$V_{medr} = V_{med} \left(1 + \frac{T_{med}}{273} \right) \text{ (m/s) } 27$$

El vacío real requerido en la chimenea se asume el incremento en 30% la suma de las pérdidas de presión en el conducto de los gases que presenta la mayor resistencia.

$$\Delta Pr = g H_0 (\rho_a - \rho_g) - \lambda_{fricc} \left[\frac{Pg(V_{med})}{2} \right] \left[\frac{H_0}{D_{med}} - \frac{\rho_{sal} \cdot V_{sal}^2}{2} \right] V_{medr} = V_{med} \left(1 + \frac{T_{med}}{273} \right)$$

(Pa) 28

$$Hr = \frac{H_0 + H_s}{2} \text{ (m) } 29$$

Sección del Ventilador de Tiro Forzado (VTF)

Capacidad

$$Q_{cap} = k_{r1} \cdot Q_a \left[\frac{101080}{H\delta} \right] 3600; \text{ (m}^3\text{/h) } 30$$

Donde:

k_{r1} Coeficiente de reserva de capacidad. (1.1)

Presión total.

$$Ht = \frac{k_{r2} \cdot \Delta PT}{9.81} ; \text{ mm H}_2\text{O} \quad 31$$

Donde:

k_{r1} -Coeficiente de reserva. $r2$ (1.2)

$$\Delta P_{fricc} = \lambda_{fricc} \left[\frac{Lc}{DH_L} \right] \left[\frac{\rho_a \cdot V_{med}^2}{2} \right] ; \text{ Pa.} \quad 32$$

14. Potencia del Ventilador (VTF).

$$N_{VTF} = \left[\frac{Q_{cap} \cdot \Delta P_T}{3670 \cdot \eta} \right] \quad (\text{kW}) \quad 33$$

Donde:

η - Rendimiento en el pto. de trabajo determinado por los catálogos 74%

15. Potencia del Motor.

$$N_{mot} = N_{VTF} \cdot K_{r3} \quad (\text{kW}) \quad 34$$

Eficiencia térmica

16. Cálculo de la eficiencia térmica del horno por el método indirecto.

$$\eta_T = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \quad \% \quad 35$$

Perdidas por calor sensible de los gases (q_2), en %.

$$q_2 = \frac{I''g - \alpha'' \times I'a}{VCI} \times (100 - q_4) \quad (\%) \quad 36$$

Perdida de calor por combustible no quemado (q_3).

$$q_3 = 3.2 \times CO \times \alpha \quad \% \quad 37$$

Donde:

CO – Cantidad de CO en los productos de la combustión, en %,

α - Coeficiente de exceso de aire, en %.

Perdida de calor por combustible no quemado (q_4).

$$q_4 = \frac{G_{cnq}}{G_c} \times 100 \quad \% \quad 38$$

Donde:

G_{cnq} – Peso del combustible no quemado en la ceniza, en kg,

G_c - Peso de la ceniza, en kg

Perdidas por radiación al exterior (q_5).

$$q_5 = 0,1 \cdot VCI \quad \% \quad 39$$

Perdidas por calor físico de la ceniza (q_6).

Se asumió.

2.3. Análisis de los resultados.

Para el análisis de los resultados se tuvo en cuenta la comparación de los parámetros calculados según la metodología, con los parámetros medidos durante la operación de la cocina eficiente.

Tabla 1. Resultados de los cálculos realizados y las mediciones tomadas a la cocina eficiente.

| Parámetros | Simb | UM | Proy | | Calc | | Dif | |
|-------------------------|-------------|--------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| | | | L | CA | L | CA | L | CA |
| Consumo de Combustib. | Bc | kg/h | 0.080 | 0.09 | 0.085 | 0.16 | 0.005 | 0.07 |
| Volumen teórico de aire | Vo | m ³ /kg | - | - | 4.14 | 4.15 | - | - |
| Volumen real de aire | Va | m ³ /kg | - | - | 5.60 | 4.80 | - | - |
| Flujo de aire | Qa | m ³ /s | 0.008 | 0.008 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.02 |
| Potencia térmica | Qtrmax | kW | - | | 110 | | - | |
| | Qtrmin | kW | - | | 27.50 | | - | |
| | Qtrn | kW | - | | 82.50 | | - | |
| Volumen útil | Vu | m ³ | 0.152 | | 0.190 | | 0.038 | |
| Volumen de gases | Vg | m ³ /kg | - | - | 6.72 | 4.76 | - | - |
| Flujo de gases | Qg | m ³ /s | - | - | 0.06 | 0.26 | - | - |
| Caída de presión | ΔPa | Pa | - | - | 2.8 | 0.9 | - | - |
| Altura de la chimenea | Hch | m | 5 | | 6 | | | |
| Diámetr. de la chimenea | Dch | m | 0.19 | | 0.24 | | 0.05 | |
| Potencia del ventilador | N_{VTF} | kW | - | | 0.58 | | - | |
| Pot. del motor elect. | Nmot | kW | 0.33 | | 0.75 | | 0.42 | |

Como se puede apreciar en la **tabla 1** aparecen los cálculos realizados (según metodología) y las mediciones tomadas durante la explotación de la cocina eficiente. El consumo de combustible cuando se utiliza leña para la cocción es de 0.085 kg/h y el calculado es de 0.080 kg/h con una diferencia de 0.005 kg/h por encima del determinado experimentalmente y en el caso del consumo de cáscara de arroz es de 0.09 kg/h el tomado durante la explotación y el calculado es de 0.16 kg/h con una diferencia este último por encima del primero de 0.07 kg/h; esta diferencia se debe a que durante las mediciones realizadas la cocción de alimento se realizaba para una cantidad menor de comensales (45) que la de diseño (60), en este caso la cantidad de energía necesaria para la cocción, evidentemente tiene que ser menor. Así mismo el flujo de aire necesario para la combustión, el flujo de gases y otros parámetros están por debajo de los calculados. Si analizamos el valor “fríamente” de estos parámetros, puede parecer que la diferencia de estos, no es significativa desde varios puntos de vista; pero si lo es, tanto desde el punto de vista térmico, aerodinámico, hidrodinámico; así como económico y ambiental por las siguientes razones:

Térmico, aerodinámico e hidrodinámico:

Desde este punto de vista tenemos que decir que el dimensionamiento de las partes integrantes de la cocina eficiente dependen de la cantidad de calor que tiene que liberar para la cocción de alimento y esta cantidad a su vez depende de las características químicas y físicas del combustibles; así como de la cantidad del mismo que se ha de consumir en la unidad de tiempo. Por lo tanto cuando se diseña un quemador se tiene en cuenta para su dimensionamiento la cantidad de combustible a consumir y la eficiencia con que este realiza el proceso de combustión. Por otro lado de la cantidad de combustible a consumir depende también el flujo de aire a suministrar para la combustión y aquí entraría el dimensionamiento de los conductos del aire, ventilador de tiro forzado y el esquema aerodinámico a establecer (cantidad a suministrar en el aire primario y secundario). Conjuntamente con esto desde el punto de vista hidrodinámico se establece la evacuación de los gases dentro del quemador que su cantidad es función directa de la cantidad de combustible consumido; para este volumen de gases (dependiendo de su magnitud) se dimensionan los canales de salida de los mismo y la chimenea para garantizar su tiro natural. Si observamos el volumen útil medido (0.152 m^3) y el calculado (0.190 m^3) vemos que este último es superior en 0.038 m^3 corroborando lo que se explicó anteriormente en cuanto al dimensionamiento del quemador. En el caso de la altura de la chimenea y su diámetro que en cálculo son mayores sus valores que los establecidos, podemos decir que para garantizar una salida correcta de los gases en la cantidad requerida estos son los valores geométricos que debe tener esta.

Económico:

Desde este punto de vista hay que tener en cuenta el costo de operación y el de inversión de la cocina eficiente, donde el primero aumenta al aumentar la cantidad de combustible consumido y el segundo por el empleo de mayor cantidad de materiales para su dimensionamiento. Hay que buscar un compromiso entre los parámetros térmicos, aerodinámicos, hidrodinámicos y económicos para lograr una eficiencia integral adecuada de la cocina eficiente.

Ambiental:

Aquí se hace evidente que con el aumento del consumo de combustible (biomasa) aumenta la cantidad de producto de la combustión que como se sabe estos contienen elementos y compuestos tóxicos, tanto para la salud humana como para el medio natural.

Tabla 2. Consumo de combustible por actividad 60 personas.

| Producto | Tiempo de cocción (h:min) | | Consumo de Combustible m ³ (kg) | |
|--------------------|---------------------------|----------|--|--------------|
| | Leña | C. Arroz | Leña | C. Arroz |
| Ablandar Frijoles | 3:00 | 3:07 | 0.22 (77.0) | 0.290 (34.8) |
| Potaje de Fríjoles | 0:55 | 0:59 | 0.11 (34.5) | 0.077 (10.0) |
| Arroz | 0:34 | 0:30 | 0.06 (21.0) | 0.070 (9.0) |

Tabla 3. Consumo de Combustible por productos.

| | Tipo de Comb. | Productos | Consumo de combustible (m ³ /kg _p) | Consumo de E.Eléct. (kW.h) |
|-----|---------------|-----------|---|----------------------------|
| QIB | Leña | Arroz | 0.0088 | 0.18 |
| | | Fríjoles | 0.0400 | 0.99 |
| | | Potaje | 0.0200 | 0.30 |
| | C. arroz | Arroz | 0.0100 | 0.20 |
| | | Fríjoles | 0.1000 | 1.02 |
| | | Potaje | 0.0260 | 0.31 |

En la **tabla 2 y 3** aparecen el consumo de combustible tanto de leña como de cáscara de arroz de este QIB teniendo en cuenta la cantidad de comensales (60) y el tipo de producto a cocinar. Estos datos son importantes ya que nos dan una idea de la cantidad de combustible de uno u otro tipo que tenemos que tener almacenado o que necesitamos en un periodo de tiempo determinado y nos permite a la vez poder comparar su eficiencia con otros quemadores o fogones.

En esta etapa del trabajo no pretendemos realizar ningún análisis económico “serio” ya que nos hacen falta elementos para poder realizarlo, que se completarían en la segunda

etapa del mismo como son: otros tipos de combustibles, las modificaciones técnicas a realizar.

III. CONCLUSIONES.

1. La evaluación térmica, aerodinámica e hidrodinámica de la cocina eficiente se realizó satisfactoriamente.
2. El tiempo de cocción de la cocina eficiente cuando se consume leña y cáscara de arroz esta en dependencia del tipo de producto a elaborar.
3. El consumo de combustible (leña y cáscara de arroz) para la cocción de alimento para 60 comensales es de 0.085 y 0.16 kg/h respectivamente.
4. El flujo de aire para la combustión, así como el flujo de gases es de 0.05 y 0.26 m³/s respectivamente.
5. La potencia térmica del quemador para garantizar la cocción de alimento para una cantidad de comensales determinada (20 a 60) debe de estar en un rango de 27.5 a 110 kW (máxima y mínima).
6. El esquema aerodinámico, así como el hidrodinámico requiere de modificaciones para garantizar un correcto funcionamiento del QIB.

IV. RECOMENDACIONES

1. Continuar con la evaluación del QIB cuando se utiliza para la cocción otros tipos de combustible (biomasa), como el aserrín y el bagazo.
2. Realizar las siguientes modificaciones:
 - a) Esquema aerodinámico al quemador.
 - b) Flujo de aire del ventilador.
 - c) Esquema hidrodinámico del conducto de aire y los conductos de salida de los gases.
 - d) Salida de la ceniza.
 - e) Entrada de combustible.
3. Realizar un análisis que combine los elementos técnicos, económicos y ambientales de este tipo de quemador con los tradicionales.

V. BIBLIOGRAFÍA

- 1- Andrade, E.B.: Sasseron, J.L.: OLIVEIRA, F.D. Principios sobre Combustivos, Combustao e Fornalhas. (Mimeografiado). Vicosa-MG, CENTREINAR. 1984. p. 32.
- 2- Cápiro, C. Y. 2002. Cálculo para la modificación del horno de la Empresa Procesadora de Café Ëladio Machín de Cumanayagua a horno de capa cónica deslizante 113 h. Trabajo de Diploma. (en opción del título de Ingeniero Mecánico). Universidad de Cienfuegos.
- 3- Castro, R. F, Discurso pronunciado por el Presidente de la República de Cuba, en la XIII Conferencia de Jefes de Estado o Gobierno del Movimiento de Países No Alineados, Kuala Lumpur, Malasia, Granma (CU), 25 de febrero de 2003.
- 4- Cisnero, R. Y. 2003. Calentadores de aire para el secado industrial 113 h. Trabajo de Diploma. (en opción del título de Ingeniero Mecanicador). Universidad de Granma.
- 5- Combustion of coffee husks / J. Werther, T. Ogada, Z. Siagi. (2000). www.elsevier.com/locate/pecs.
- 6- EBLESI-EVANS COMPANY. (1999). Combustion Basic. www.blesi-evans.com/combusti.htm
- 7- Energías renovables. (2002). Energías Renovables. www.energiasrenovables.com/ContenidoDiccionario.asp?ID=6.
- 8- Freisjo Ruiz, Jesús. Propuesta de una instalación trituradora de cascarilla de arroz./ Jesús Freisjo Ruiz; Bienvenido Sarría López; Nodelmis Hernández Águila, Tutores.- Trabajo de Diploma; UCF (CF), 2000. -89h.9
- 9- García Díaz, Rafael. Diccionario Técnico Inglés- Español. Rafael García Díaz. -La Habana: Editorial Ediciones Revolucionaria, 1987. -540p.
- 10- Gonzáles, M. Combustivos e Fornalhas. CIENTEC, Porto Alegre (RS). (Notas de Aulas). p. 20. 1980.
- 11- González, J.R. Ahorro de Energía en Cuba. Editorial Científico -Técnica. Cuba, 1986.
- 12- Granger, B.G. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química / George Granger Brown -La Habana: Ed. Revolucionaria, 1965.-630p.
- 13- Guliaev, A. Metalografía./ A Guliaev.-- Moscú: Editorial Mir, 1978.-- 2t.
- 14- Herrera, O. Blanco, A. Equipos de Transferencia de Calor. Fac. de Energética. ISPJAE. La Habana. 1985. 343p.
- 15- Mark's. Standard Handbook for Mechanical Engineers McGrawill.8a ed.1978.
- 16- Mazola Collazo, Nelson. Manual del Sistema Internacional de Unidades / Nelson Mazola Collazo. - La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1991. -274p.
- 17- Microsoft Excel 97. Estados Unidos. Computación (Manual de Operaciones).

- 18- Mijeeva, I.M. Fundamentos de termo transferencia. I.M. Mijeeva. Moscú: Ed. Mir, 1979.—376p.
- 19- OCDE/AIE. (1999). Combustion. www.energy-coal-eur.com/Technology/combustion.htm
- 20- Pereira, J.A.M.; Queiroz, D.M.; A.L. Secador de granos com aire movimentado por conveccion natural. *Post-cosecha*, Vicosa-MC, no. 5, marzolibrunio, 1985.
- 21- Pérez G, L. Generadores de vapor / Luis Pérez Garay -La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1986. -440p.
- 22- Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía. Cuba: Premium Publicity. S. A., 1993. 78p.
- 23- Resolución económica.—La Habana. 5. Congreso del Partido Comunista, 1997
- 24- Rodríguez Arias, Abelardo. Teoría y práctica de los procesos de combustión. Combustibles sólidos / Abelardo Rodríguez Arias, Lis Belkis Rosabal Ponce. -La Habana: Ed. Academia, 2000. -454p.
- 25- Rubio, A., Generadores de Vapor, Santa Clara, Cuba, 1982.
- 26- Sarría , L.B 1998. Estudio sobre la efectividad del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bals), para el combate de *Atta insularis* Guierin en Cuba. Cienfuegos. 95 h.. Tesis (en opción al título de Master en Eficiencia energética) Universidad de Cienfuegos.
- 27- SCG. (2000). Numerical methods in combustion. www.win.tue.nl/~martijna/combustion.html
- 28- Sistemas de Generación y Distribución de Vapor. Cálculos Rápidos. Comisión Nacional de Energía. Ciudad de la Habana, Cuba, 1987
- 29- Tablas, Normas y Nomograma. Cálculo Térmico de Generadores de Vapor. Método normativo. Dpto. Energía. 1975. 63 p
- 30- Técnicas de conservación energética en la industria. La Habana: Ed. Revolucionaria, 1982.-2t..
- 31- Walter, M. K. Análisis de competitividad de la agroindustria del Café de Nicaragua Octubre, 2000.
- 32- Zamora L. “Horno de Capa Cónica Deslizante (HCCD) para quemar cáscara de café y otras bimasas. TESIS DE MAESTRIA. CEEMA. UCf, 2003.

VI. ANEXOS

Esquema general de la cocina eficiente.

