

CARATERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ UTILIZANDO UN SISTEMA TÉRMICO CON CAPACIDAD DE 60000 Kcal/h.

Tipanluisa, L.

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Sangolquí, Ecuador, Maestría en Energías Renovables

Barriga, A.

Escuela Politécnica del Litoral

Guasumba, J.

Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Laboratorio de Energías Renovables, Área de Combustión de Biomasa

RESUMEN

La presente investigación consiste en la caracterización energética de los productos de combustión de la cascarilla de arroz, utilizando un sistema térmico de 60000 Kcal/h, para lo cual se sigue un procedimiento basado en estudios de campo, concretamente en las ciudades de Quevedo y Ventanas, y posterior desarrollo experimental, mediante la quema de este combustible sólido, en una cámara horizontal, a partir del cual se consigue determinar el consumo de biomasa por hora y la potencia generada, es decir 14 Kg/h producen 34,01 Kw térmicos. Para optimizar la alimentación del tamo, se los transporta por un ducto cilíndrico que contiene el tornillo sinfín que gira a 1 RPM. En cuanto al campo de temperaturas en el sistema térmico, se establece que la de encendido de la cascarilla alcanza los 680 °C, los gases de combustión ingresan al intercambiador de calor de tres etapas, a 229,64 °C y salen al ambiente a 56,01 °C. El aire de proceso entra a 25,48 °C y sale a una temperatura promedio de 139,98 °C, obteniéndose un diferencial de 114 °C. En lo que respecta al contenido de humedad del combustible, es necesario que tenga una tasa inferior al 15% para reducir las emisiones de CO, cenizas, hollín. Los resultados de esta investigación permitirán homologar sistemas de combustión para el aprovechamiento de la biomasa, en los sectores productivos donde se dispone de una importante producción de arroz, como es el caso de la Provincia del Guayas y Los Ríos.

Palabras clave: cascarilla de arroz, alimentación, temperatura de encendido, celulosa, gases de combustión.

ABSTRACT

The current research consists of the energetic characterization of the products combustion the husk rice, using a thermal system of 60000 Kcal/h, for which follows a procedure based on field studies, concretely in the cities of Quevedo and Ventanas, and later experimental development, by means of the burning of this solid fuel, in a horizontal chamber, from which one manages to determine the consumption of biomass per hour and the power generated, that is 14 Kg/h produces 34,41 Kw. To optimize the supply of the fuzz, they are transported by a cylindrical duct that contains the screw endless that turns at 1 RPM. As for the field of temperatures in the thermal system, it is found that ignition of the husk reaches the 680 °C, the gases of combustion input to heat interchanger at 229,64 °C and go out to the environment for 56,01 °C. The process air enters 25,48 °C and go out to an average temperature of 139,98 °C, a differential temperature of the 114 °C is obtained. Regarding the content of dampness of the fuel, it is necessary that it has a rate lower than 15 % to reduce the CO emissions, ashes, soot. The results of this investigation will allow to improvement systems of combustion for the utilization of the biomass, in the productive sectors where he arranges of an important production of rice, since it is the case of the Province of the Guayas and The Rios.

1 INTRODUCCIÓN

La biomasa es uno de los recursos más importantes que dispone el Ecuador, al hacer referencia a un residuo vegetal generado en el proceso productivo del arroz, se puede indicar que el 22% corresponde al tamo o cascarilla, este subproducto, no es debidamente utilizado debido a las dificultades técnicas y tecnológicas para su aprovechamiento. Se conoce que en pequeña escala se produce aislamientos térmicos, como abono, y para procesos de combustión el ladrilleras y secadoras de grano, en el ámbito de la construcción se pueden producir paneles, fibras para elaboración de paneles dado su carácter de ignífuga y de baja conductividad térmica. Al tratar este residuo como un recurso aplicable en los procesos de combustión, es necesario disponer de datos y variables termo-físicas que inciden en la producción de calor útil, y la consecuente disipación de contaminantes al ambiente.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

No existen estándares de la cascarilla de arroz cuando esta es aplicada en productos de la combustión que sirva de base para incentivar e impulsar el aprovechamiento de este residuo como fuente de energía limpia, se propone el proyecto denominado caracterización de los productos de combustión de la cascarilla de arroz, con el cual se espera que en el mediano y largo plazo, este proyecto sirva de base para el aprovechamiento en gran escala de la cascarilla de arroz y que beneficien a los pequeños productores de la Costa del Ecuador, ubicados en las provincias de Guayas y Los Ríos, donde se dispone de un importante recurso de biomasa

3 OBJETIVO

Caracterizar los productos de combustión de la cascarilla de arroz utilizando un sistema térmico con capacidad de 60000 Kcal/h.

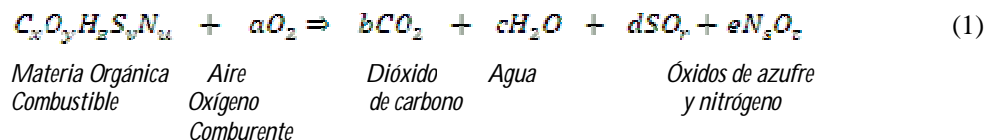
4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 Combustión directa de la biomasa

El método más primitivo de la energía contenida en la biomasa vegetal es su combustión directa. La combustión es una reacción de oxidación en la que interviene el oxígeno como agente oxidante; pero para que sea propiamente una combustión debe ser rápida y exotérmica, con un aumento elevado de la temperatura y a más de las veces con emisión de luz.

Esto es lo que ocurre cuando se utiliza materia orgánica como combustible:

La biomasa reacciona con el oxígeno-arde-produciendo suficiente energía como para auto alimentarse (vencer la energía de activación de toda la reacción química), la reacción sede calor al medio, por lo que es exotérmica y los productos de la combustión alcanzan tal temperatura que se ponen incandescentes en su origen, mostrándonos el fenómeno al que llamaos fuego de llama. Cuando se queman completamente compuestos inorgánicos, el combustible es oxidado totalmente por el comburente dando lugar a los productos de la combustión.



Dónde:

C_x Contenido de carbono en la biomasa; O_y contenido de oxígeno; H_z contenido de hidrogeno; S_v contenido de azufre; N_u contenido de nitrógeno; O_2 contenido oxígeno; CO_2 dióxido de carbono;

H_2O contenido agua; SO_2 contenido óxido de azufre; N_2O_2 contenido de óxido de nitrógeno; a , b , c , d , parámetros algebraicos para la igualación de la ecuación.

4.2 Contenido de humedad

El exceso de humedad en la materia prima, o el defecto de oxígeno, provoca que la combustión sea incompleta generando carbonilla (carbón) y monóxido de carbono CO. La materia sólida vegetal tiene un contenido de agua superior al 50% en peso, por lo que es imprescindible secarla antes de quemarla para tener un producto con contenido de humedad inferior al 15%. Por otro lado, la biomasa de origen vegetal tiene un escaso contenido de azufre no existiendo prácticamente emisiones a la atmósfera en forma de óxidos. Por el mismo motivo, la corrosión de los equipos de combustión es mínima debido a la escasa formación de ácido sulfúrico en la reacción de los óxidos de azufre con el vapor de agua, como ocurre con los combustibles fósiles sólidos y líquidos.

La humedad relativa se puede referir a la base húmeda $\%h$, o a la base seca $\%h'$.

$$\%h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\%h' = \frac{P_h - P_s}{P_h} \cdot 100 \quad (3)$$

$$\%h = \frac{1}{1 + \%h'} \quad (4)$$

De allí que:

P_s Peso seco (kg); P_h peso húmedo (kg); $\%h$ porcentaje de humedad en base húmeda; $\%h'$ porcentaje humedad en base seca.

Otra característica físico-química del combustible sólido es su humedad, para calcular esta debemos conocer el peso húmedo P_h , lo que se hace por peso normal y el peso seco P_s , que puede determinarse manteniendo la biomasa en una estufa a 103°C hasta que dos pesadas consecutivas sean iguales.

4.3 Poder calorífico superior (PCS)

Como el índice del contenido energético de un combustible se define por el poder calorífico superior y el inferior, P.C.S. y P.C.I. respectivamente.

El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa que un combustible desprende al quemarse, normalmente se expresa en Kcal/kg.

Se dice que es el P.C.S. cuando el comburente aire u oxígeno, está seco y en condiciones normales (0°C y 1 atm), y se enfrían los productos de la combustión hasta 0°C, condensándose el vapor de agua formado.

El P.C.I. es el valor del P.C.S. menos el calor latente de vaporización de la cantidad de agua condensada. Conociendo la composición porcentual de los elementos químicos más importantes de la biomasa en cuestión: carbono, oxígeno, hidrógeno y azufre, lo que puede determinarse por métodos de análisis químico, y aplicando la siguiente fórmula, establecida por Dulong, calculamos con muy buena aproximación el P.C.S.

$$P.C.S. = \frac{8100\%C + 34000\left(\%H - \frac{\%O}{8}\right) + 2500\%S}{100} \quad (5)$$

P.C.S Poder calorífico superior; **%C, %H, %O, %S**, son la composición porcentual de los elementos químicos más importantes de la biomasa, carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre.

4.4 Poder calorífico inferior

Calculado el P.C.S., si se conoce el **%h**, de la humedad del combustible, podemos calcular el P.C.I. por:

$$P.C.I. = P.C.S. \frac{560 - \%h}{100} \quad (6)$$

P.C.I es el poder calorífico inferior; P.C.S es el poder calorífico superior; **%h** porcentaje de humedad del combustible.

4.5 Eficiencia de la combustión de biomasa

El rendimiento en la producción de calor es, entre otras variables relativas a la tecnología de combustión, a la presentación y tipo de biomasa vegetal, función de humedad, y oscila entre el 30 y 90% sobre el P.C.I. Cuando se produce vapor de alta presión para la generación de electricidad el rendimiento esta entre 25% y el 35%. Son susceptibles de quemarse para obtener energía térmica y eléctrica residuos de prácticamente todas las operaciones procedentes directamente del laboreo y transformación agrícola, o de procesos industriales donde interviene materia prima vegetal, como casca de almendra, cascarilla de arroz, serrín, viruta, recortes de chapa de madera.

5 DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Material y equipo utilizado:








Combustible sólido, cascarilla de arroz	Cámara de combustión de 60000 Kcal / hr
	 <p data-bbox="914 1566 1289 1591">Desarrollado por: J. Guasumba, 2003</p>

Figura 1. Cascarilla de arroz y sistema de combustión de biomasa seca

El sistema térmico utilizado para la combustión de la cascarilla de arroz consiste de una cámara de combustión de lecho fijo, intercambiador de calor de tres etapas en tubos, tolva de carga, sistemas para circulación de aire forzado y mecanismo de alimentación.

5.2 procedimiento

Tabla 1. Etapas de la combustión de la cascarilla de arroz.

Orden	Etapa	Descripción
1		Carga del combustible sólido con contenido de humedad inferior al 15%.
2		Prueba de alimentación de cascarilla a una revolución por minuto del tornillo sinfín.
3		Combustión de cascarilla, tiempo de incandescencia de 4 segundos.
4		Gases de combustión de biomasa, a temperaturas de salida inferior a 60 °C.
5		Evacuación de cenizas por la parte inferior de la cámara de combustión.

5.3 Resultados obtenidos

Intercambiador de calor:

Los datos que se presentan en la tabla 2, permiten determinar la media logarítmica de la diferencia de temperatura para el balance energético del intercambiador de calor.

Tabla 2. Temperaturas en el intercambiador de calor.

Orden	Hora (hr)	Tiempo (t)	Temperatura de gases exterior tubos (Thi)	Temperatura de salida de gases (Tho)	Temperatura de ingreso de aire (Tci)	Temperatura de salida de aire (Tco)
		min	°C	°C	°C	°C
1	8:10	10	224	53,0	19,5	141,0
2	8:20	20	218	53,4	20,3	141,7
3	8:30	30	223	53,8	19,7	142,2
4	8:40	40	215	54,2	22,7	137,8
5	8:50	50	212	54,8	26,0	139,6
6	9:00	60	216	55,0	26,4	138,4
7	9:10	70	220	55,1	27,5	139,5
8	9:20	80	218	55,3	22,0	137,6
9	9:30	90	219	55,4	21,9	139,8
10	10:00	100	217	55,5	25,5	137,9
11	10:40	140	216	55,6	27,5	138,5
12	10:50	150	239	55,5	27,7	138,7
13	11:40	200	236	55,3	29,8	138,2
14	11:50	210	238	55,1	29,7	138,3
15	12:00	220	232	55,0	29,7	139,4
16	12:50	270	235	54,9	31,6	138,5
17	13:00	280	238	54,6	32,6	139,6
18	13:30	310	240	54,1	27,2	137,7
19	14:00	340	241	57,3	27,2	138,8
20	14:30	370	234	57,7	27,2	138,9
21	15:00	410	219	58,1	27,2	139,0
22	15:30	440	235	59,0	24,3	139,6
23	16:00	470	243	58,4	24,3	141,0
24	16:30	510	240	59,4	24,3	142,8
25	17:00	540	241	59,2	24,3	143,2
26	17:30	570	241	59,3	24,3	143,3
27	17:40	610	238	59,4	21,5	143,4
28	17:50	620	242	55,0	21,5	145,0
PROMEDIO			229,64	56,01	25,48	139,98
VALOR MÁXIMO			243	59,4	32,6	145
VALOR MÍNIMO			212	53	19,5	137,6

Para determinar el promedio de velocidades del aire y gases en el intercambiador de calor se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3. Velocidades de gases y aire de proceso en el intercambiador de calor.

Orden	Hora (hr)	Tiempo (t)	Velocidad de entrada de gases (V _{hi})	Velocidad de salida de gases (V _{ho})	Velocidad de ingreso de aire (V _{ci})	Velocidad de salida de aire (V _{co})
		min	m/s	m/s	m/s	m/s
1	8:10	10	8,58	5,55	7,76	4,74
2	8:20	20	7,61	5,50	8,04	4,75
3	8:30	30	7,48	5,51	8,14	4,78
4	8:40	40	8,09	5,68	8,27	4,80
5	8:50	50	7,63	5,53	8,25	4,79
6	9:00	60	8,75	5,52	8,29	4,85
7	9:10	70	7,97	5,59	8,49	4,79
8	9:20	80	7,92	5,57	8,11	4,74
9	9:30	90	8,10	5,58	8,72	4,75
10	10:00	100	8,19	5,56	7,33	4,76
11	10:40	140	8,47	5,62	8,08	4,77
12	10:50	150	8,21	5,65	7,87	4,78
13	11:40	200	7,87	5,64	8,10	4,80
14	11:50	210	8,61	5,61	8,27	4,79
15	12:00	220	8,04	5,60	8,29	4,85
16	12:50	270	8,22	6,64	8,40	4,78
17	13:00	280	7,90	5,73	8,27	4,80
18	13:30	310	7,87	5,78	8,30	4,79
19	14:00	340	7,95	5,71	8,14	4,85
20	14:30	370	7,92	5,70	8,20	4,78
21	15:00	410	8,11	5,79	8,28	4,80
22	15:30	440	7,70	5,68	8,25	4,79
23	16:00	470	8,01	5,72	8,06	4,85
24	16:30	510	7,81	5,77	8,03	4,81
25	17:00	540	8,08	5,78	8,20	4,78
26	17:30	570	7,93	5,79	8,44	4,80
27	17:40	610	7,81	5,82	8,52	4,79
28	17:50	620	8,26	5,81	8,61	4,85
PROMEDIO			8,04	5,69	8,20	4,79
VALOR MÁXIMO			8,75	6,64	8,72	4,85
VALOR MÍNIMO			7,48	5,50	7,33	4,74

Cámara de combustión:

En la cámara de combustión se miden, temperaturas de combustión, de paredes interna y externa, así como las velocidades del aire

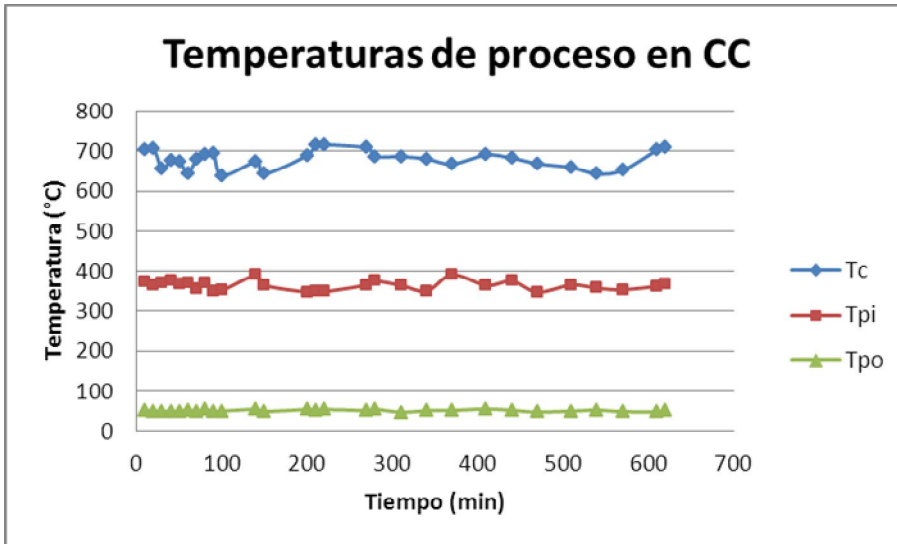


Figura 2. Temperaturas de proceso en la cámara de combustión.

De acuerdo con la figura anterior, se puede observar que la temperatura de combustión de la cascarilla de arroz se aproxima a los 700 °C.

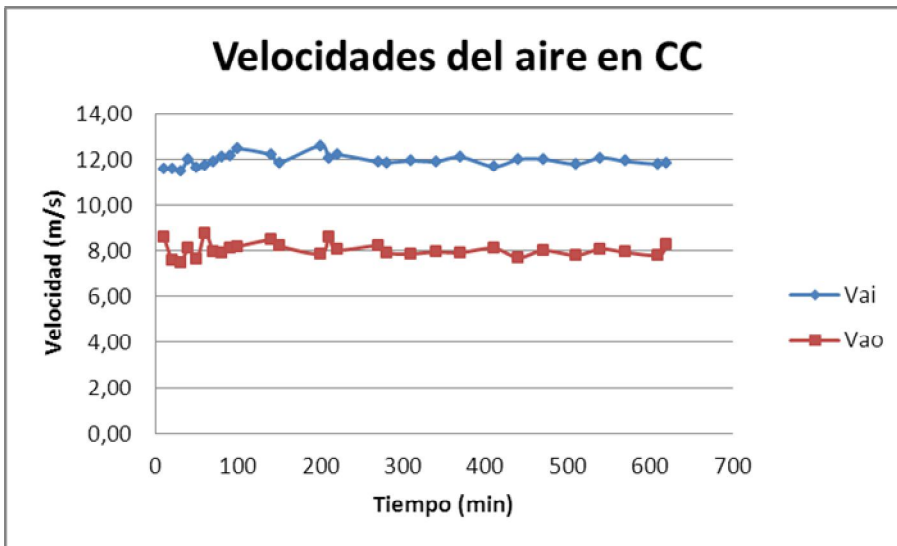


Figura 3. Velocidades de ingreso y salida del aire.

Alimentación del combustible:

Este proceso es uno de los más críticos, debido a que es necesario que exista una sincronización entre la cantidad de combustible que ingresa a la cámara, el área de combustión, evacuación de cenizas y la alimentación del aire que actúa como comburente. Caso contrario, el combustible que se alimenta al hogar apaga la llama produciendo la generación de humo.

Tabla 4. Datos de alimentación del combustible a la cámara de combustión.

Orden	Tiempo (t)	Peso de cascarilla (M)	Tiempo de alimentación (ta)	Masa de combustible (mc)	Numero de revoluciones (N)	Frecuencia del variador de velocidad (f)
	min	Kg	min	Kg/h	rpm	Hz
1	5	3,477	1,23	41,72	3	60
2	5	3,489	1,22	41,87	3	60
3	5	3,495	1,25	41,94	3	60
4	5	3,480	1,23	41,76	3	60
5	5	3,478	1,24	41,74	3	60
6	5	3,487	1,24	41,84	3	60
PROMEDIO			1,24	41,81		
7	5	2,318	2,46	27,82	2	40
8	5	2,326	2,42	27,91	2	40
9	5	2,330	2,49	27,96	2	40
10	5	2,320	2,46	27,84	2	40
11	5	2,318	2,49	27,82	2	40
12	5	2,326	2,48	27,91	2	40
PROMEDIO			2,47	27,88		
13	5	1,159	5,30	13,91	1	21
14	5	1,163	5,42	13,96	1	21
15	5	1,165	5,21	13,98	1	21
16	5	1,160	5,33	13,92	1	21
17	5	1,159	5,34	13,91	1	21
18	5	1,163	5,42	13,96	1	21
PROMEDIO			5,34	13,94		
19	5	0,580	11,00	6,96	0,5	11
20	5	0,594	10,50	7,13	0,5	11
21	5	0,582	10,25	6,98	0,5	11
22	5	0,579	11,00	6,95	0,5	11
23	5	0,582	10,25	6,98	0,5	11
24	5	0,580	10,50	6,96	0,5	11
PROMEDIO			10,58	6,99		

La velocidad de rotación adecuada para alimentar la cascarilla de arroz es de 1 RPM.

5.4 Análisis de resultados

En el proceso de combustión de cascarilla de arroz, se necesita identificar los parámetros más importantes, desde el punto de vista energético. Así se tiene, lo relacionado con los datos de operación del intercambiador de calor y de la cámara de combustión.

Intercambiador de calor:

En este sistema de transferencia de energía se requiere conocer las temperaturas de entrada y salida de los gases de combustión, temperatura de entrada y salida del aire de proceso y velocidades del aire.

Tabla 5. Velocidades y temperaturas de intercambiador de calor.

Parámetro	Denominación	Valor Promedio	Unidad
Temperatura de entrada del aire	Tci	25,48	°C
Temperatura de salida del aire	Tco	139,98	°C
Temperatura entrada de gases	Thi	229,64	°C
Temperatura de salida de gases	Tho	56,01	°C
Velocidad de entrada del aire	Vci	8,2	m/s
Velocidad de salida del aire	Vco	4,79	m/s
Velocidad de ingreso de gases	Vhi	8,04	m/s
Velocidad de salida de gases	Vho	5,69	m/s

Cámara de combustión:

Tabla 6. Temperatura y velocidades en cámara de combustión.

Parámetro	Denominación	Valor Promedio	Unidad
Temperatura de entrada de combustión	Tc	680,46	°C
Temperatura de pared interior	Tpi	363,68	°C
Temperatura de pared exterior	Tpo	50,74	°C
Temperatura de ingreso de aire	Ta	25,48	°C
Temperatura de salida de gases	Thi	229,64	°C
Temperatura de ceniza	Tceniza	256	°C
Velocidad de ingreso de aire	Vai	11,95	m/s
Velocidad de salida de gases	Vao	8,04	m/s

Alimentación del combustible:

Tabla 7. Parámetros del sistema de alimentación de cascarilla.

Parámetro	Denominación	Cantidad	Unidad
Revoluciones por minuto	RPM	1	rev/min
Frecuencia	f	21	Hz
Consumo de combustible	\dot{m}_c	14	Kg/h

CONCLUSIONES

- La cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial que se produce en mayor proporción en las provincias de Guayas y Los Ríos. De acuerdo con los datos registrados en el MAGAP, de una producción anual, para el año es de 1.132.267 TM de las cuales, si el 22% es tamo, se puede indicar que la cantidad de residuo de 249.098. Sin embargo, a pesar de contar con una gran cantidad de desperdicio, hasta la actualidad, el tamo de arroz no es debidamente aprovechado. En muy pequeña proporción se utiliza en el sector florícola. También, como combustible para el secado de granos y para elaboración de ladrillos. Mientras que una mayor cantidad se lo abandona en el campo o se lo quema con aire ambiente, ocasionando contaminación ambiental.
- De acuerdo con los datos de encuestas realizadas, el potencial energético disponible en los sectores de Quevedo y Ventanas es de $90,72 \times 10^6$ MJ, equivalente a 14.823 Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP).
- Dentro del estado del arte se han realizado investigaciones de la cascarilla de arroz en Centroamérica, Cuba, Costa Rica, Honduras, más al sur en Colombia y Perú. Entre los más importantes resultados obtenidos sobre las características de la cascarilla, se tiene que la celulosa se halla presente en un 40%, contenido de humedad requerida para el pilado del 10% al 15 %, volátiles a una temperatura de 600 °C, 25% de CO₂, 37% de CO, 13% de H₂ y 15% de CH₄, el porcentaje de cenizas alcanza el 19,34%, para un contenido de humedad del 7.41%. Además, al quemar 1 Kg de cascarilla se produce 3,6 Kw térmicos.
- Al desarrollar la presente investigación se ha logrado determinar que la temperatura de combustión de cascarilla de arroz sobrepasa los 650 °C, La temperatura de gases en el exterior de los tubos se encuentra alrededor de 229 °C. Además, la partícula del tamo de arroz permanece en combustión durante un tiempo de 4 segundos.
- La cámara de combustión, utilizada para quemar cascarilla de arroz tiene una capacidad promedio de 14 Kg/h, con una capacidad de producción energética de 50,65 Kw térmicos. El combustible sólido, con un contenido de humedad inferior a 15%, es alimentado por el tornillo sin fin, a una velocidad de rotación de 1 RPM.
- En el análisis energético de la cámara de combustión se obtiene los siguientes datos: temperatura del lecho 680 °C, pared interior 363 °C, pared exterior 50 °C, temperatura en el exterior de los tubos del intercambiador 229 °C. en cuanto a las velocidades del aire de entrada 12 m/s y salida de gases 8m/s.
- El intercambiador de calor de tres pasos de tubos en carcasa de tipo vertical tiene una temperatura de entrada al haz 25 °C y de salida de 140 °C, con velocidades de aire a la entrada de 8 m/s y salida de 5 m/s. en cuanto a los gases de combustión la temperatura en el exterior de los tubos del intercambiador de 229 °C y la de salida de 56 °C, con velocidades de ingreso de gases 8 m/s y salida de 6 m/s.
- Luego de realizar diversos ensayos sobre el funcionamiento del sistema de alimentación de combustible, se pudo determinar que la velocidad de rotación del tornillo sin fin, más adecuada es de 1 RPM, tomando en cuenta que el desplazamiento horizontal de la cascarilla es de 0.87 m., y lo realiza en un tiempo de 5.34 minutos, por lo que su velocidad es de 0,16 m/s.

RECONOCIMIENTOS

Muchas personas e Instituciones han colaborado con el desarrollo de esta investigación, entre ellas, hago extensible mi más sincero agradecimiento a la ESPE por ser una institución forjadora de líderes que luchan por alcanzar la excelencia, al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, y en especial al Señor MSc. Ing. José Guasumba por ser el fundador y Coordinador de la Maestría en Energías Renovables, a la Unidad de gestión de Posgrados de la ESPE, por su abnegada labor administrativa, al Señor Dr. Alfredo Barriga PhD., por haber compartido sus

conocimientos y experiencias con la mayor profundidad posible en beneficio de este proyecto. A la Empresa Piladora Villares Wilo de la ciudad de Ventanas por haber permitido el levantamiento de información técnica de alto valor agregado. A los demás colaboradores, les expreso mi abrazo fraterno y profundo agradecimiento por haber dedicado recursos y apoyo técnico, ya que sin ello no podría haber avanzado con este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Incropera F., Dewitt D., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4ª Edición, Editorial WILEY, New York, 1996.
2. Cengel, Y., Termodinámica, 6ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2009.
3. WAYNE. Combustion System, Manual de funcionamiento y mantenimiento Quemadores serie P250 AF, 2010
4. INIAP. Instituto nacional de investigaciones agropecuarias, Manual agrícola de los principales productos del Ecuador, 2008.
5. MAGAP. Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca, Panorama de la cadena del arroz, 2002.
6. SIERRA, Jaider, Alternativas del aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia, Universidad de Sucre, 2009.
7. AGENER, Agencia de Gestión Energética, Diputación provincial de Jaén-España, 2009.
8. Cengel, Y., Transferencia de Calor, 2ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2003.
9. Mills A. F., Transferencia de Calor, 1ª Edición, Editorial IRWIN, España, 1995.
10. Kreith F., Bohn M., Principios de transferencia de calor, 6ª Edición, Editorial THOMSON LEARNING, México, 2001.
11. Pitts D., Sissom E., Transferencia de Calor, 1ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, Bogotá, 1979.
12. Madrid A., Energías Renovables, 1ª Edición, Editorial, MUNDI-PRENSA, España, 2009.
13. Corvalan R., Horn M., Roman R., Saravia L., Ingeniería del Secado Solar, Editorial CITED-D, 1992.
14. Waldir F., Utilizacão Egergetica De Resíduos Vegetais, Editorial Ibama, Brasília, 2003.
15. Baskakov A., Termotecnica, Editorial Mir, Moscú, 1985.
16. Vlassov D., Combustiveis, Combustao e Camaras de Combustao, Editorial UFPR, Brasil, 2001.
17. Potter M., Somerton C., Termodinámica para Ingenieros, Editorial Mc Graw Hill, España, 2004.
18. Dirección provincial agropecuaria del Guayas, Ing. Agrónomo, Roosevelt Idrovo Domínguez.
19. Assureira, E. Combustible alternativo: La cascarilla de arroz, 2002.
20. Edifarm, Vademécum Agrícola 2004 Ecuador (Octava Edición, Ecuador, 2004), pp. 41-52.