

Eficiencia Energética en el Proceso de Secado en la Industria del Arroz en Paraguay

Autor: Guillermo Alonso¹

Resumen

En Paraguay la biomasa representa el 50 % del consumo final en la matriz energética, y es utilizada en parte de forma precaria y con bajo rendimiento. El objetivo de este trabajo fue analizar la eficiencia energética del uso de la biomasa en el proceso de secado en la industria del arroz en el Paraguay, considerando plantas de secado de mediano porte. Se realizaron mediciones en una industria típica y posteriormente los resultados son extrapolados a nivel nacional. Se obtuvo un rendimiento promedio de 25 % aproximadamente en el proceso de secado utilizando leña de forma rudimentaria en las industrias de mediano porte. Se propone sustituir la leña por cascarilla de arroz, que es un subproducto del proceso de esta industria, con lo que se estaría ahorrando aproximadamente 903 hectáreas al año de masa forestal. Se sugieren mejoras para la eficiencia energética a través de la optimización en el proceso de secado y la utilización de nuevas tecnologías.

Palabras Claves: eficiencia energética, horno, biomasa, cascarilla de arroz

Abstract

In Paraguay biomass represents 50% of final consumption the energy matrix, and it is used in part precariously with low performance. The objective of this paper was to analyze the energy efficiency of biomass use in the drying process in the rice industry in Paraguay, considering drying plants medium size. Measurements were made in a typical industry and later the results were extrapolated nation wide. An average yield of about 25% in the drying process was obtained using a rudimentary wood in medium-sized industries. It is proposed to replace firewood by rice husk, which is a byproduct of this industry, which would be saving about 903 hectares of woodland each year. Improvements in energy efficiency through the optimization of the drying process and the use of new technologies are suggested.

Key Words: energy efficiency, furnace, biomass, husk of rice

¹Profesor de la Facultad de Ingeniería y Docente Investigador
Universidad Nacional de Itapúa email: guillermo.alonso.c@gmail.com

Recibido: 16/02/2015 Aceptado: 20/11/2015

Introducción

A nivel internacional el análisis de la eficiencia energética de un proceso industrial es ampliamente abordado, debido al agotamiento de los recursos y el impacto ambiental que provoca la mala utilización de la energía.

Los recursos renovables provenientes de la biomasa son actualmente los de mayor incidencia dentro de la matriz energética del Paraguay, representando el 50% del Consumo Final, de acuerdo al Balance Energético Nacional (Viceministerio de Minas y Energía, 2012). Estos son utilizados generalmente de forma precaria y con bajo rendimiento. Por su alta participación en la matriz energética, la eficiencia en la utilización de la biomasa es de carácter fundamental para lograr el desarrollo sostenible.

En las industrias arroceras el mayor consumo de energía se produce en el proceso de secado de los granos, representando alrededor de un 80% del total, el 20% restante representa la demanda de energía eléctrica utilizada para la generación de fuerza motriz (motores de: cintas, elevadores, ventiladores, entre otros).

En cuanto a la eficiencia energética, generalmente las posibilidades de mejoras tienen mayor margen en los procesos de utilización de la biomasa, considerando que los rendimientos de utilización de la energía eléctrica en fuerza motriz (motores),

Objetivo General

Analizar la eficiencia energética de la utilización de la biomasa en el proceso térmico de secado en las industrias arroceras medianas típicas del Paraguay.

Objetivos Específicos

- Determinar la eficiencia térmica de un secadero típico.
- Determinar la eficiencia térmica del horno utilizado en el secadero.
- Describir las ventajas de la utilización de la cascarilla de arroz como combustible para los secaderos de arroz.
- Realizar sugerencias para mejorar la eficiencia energética de la planta industrial a través de la optimización en el proceso de secado, la utilización de nuevas tecnologías y el mejor aprovechamiento

de los recursos disponibles.

- Estimar el ahorro económico mediante la aplicación de las medidas planteadas en una industria típica.
- Estimar el ahorro de leña y masa boscosa en el proceso de secado mediante la aplicación de las mejoras planteadas.

Materiales y Métodos

Según su finalidad este trabajo es una investigación aplicada pues realiza un aporte social y pretende resolver los problemas aplicando los conocimientos de la investigación básica. Teniendo en cuenta la profundidad el estudio es descriptivo, de carácter cuantitativo y cualitativo.

Según su alcance temporal es del tipo longitudinal de prospectiva, teniendo en cuenta que se analizan escenarios futuros en base a los actuales.

Se determinó el rendimiento térmico de un secadero típico de mediano porte. Para ello, se ha realizado el levantamiento de datos de un secadero de arroz de una empresa típica del departamento de Itapúa, de capacidad total de 20 ton/día, compuesta de dos equipos del tipo de secadero en tandas de columna vertical de igual capacidad.

El proceso de combustión es realizado en cada secadero mediante un horno de ladrillos refractarios (Figura 1) que opera con leña, principalmente de eucalipto, este horno es operado manualmente y la regulación de temperatura es realizada por los operarios mediante la apertura de una compuerta y la lectura de un termómetro ubicado en la zona superior de salida del aire caliente del ventilador.

Los datos fueron tomados del periodo de zafra 2011/2012, durante los meses de Enero, Febrero y Marzo. Los datos de arroz procesado y del secadero se detallan en el Cuadro 1.

El contenido de humedad del arroz recepcionado en porcentaje en masa sobre base de arroz cáscara húmedo, se detalla en el Cuadro 2.

Cuadro 1: Cantidad de arroz procesado y capacidades del secadero

Cantidad de arroz recepcionado [kg]	2.254.510
Cantidad de secaderos	2
Capacidad unitaria de secaderos [kg/día]	10.000
Capacidad total de secado [kg/día]	20.000
Capacidad de zarandas de pre limpieza [kg]	5.000
Capacidad silo pulmón [kg]	20.000
Capacidad tolva de recepción [kg]	55.000

Fuente: Elaboración Propia



Figura 1: Horno para biomasa (leña) de secadero de industria mediana típica de la región.

Humedad de entrada [%]	16-20	21-23	24-29	29-32	Total
Porcentaje	20	40	25	15	100
Cantidad de arroz cáscara [kg]	450.902	901.804	563.628	338.177	2.254.510

Fuente: Elaboración Propia

Se determina la eficiencia térmica del proceso de secado y del horno de biomasa.

$$\eta_{ts} = \frac{E_u}{E_{TC}} = \frac{\dot{m}_{H_2O} \cdot h_{fg,H_2O} + \dot{m}_{H_2O} \cdot C_{p,H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O}}{\dot{m}_c \cdot PCI}$$

Donde:

- η_{ts} : Rendimiento térmico global del secadero de arroz.
- E_u : Energía útil (kWh)
- E_{TC} : Energía térmica consumida (kWh)

- E_{TC} : Energía térmica consumida (kWh)
- \dot{m}_{H_2O} : Flujo de agua extraída por el secadero (kg/h)
- \dot{m}_c : Flujo de combustible (kg/h)
- h_{fg,H_2O} : Calor latente de vaporización del agua (kJ/kg) $(2.512 \frac{kJ}{kg})$
- C_{p,H_2O} : Calor específico del agua $(\frac{kJ}{kg \cdot K}) \cdot (4.182 \frac{kJ}{kg \cdot K})$
- PCI: Poder Calorífico Inferior de la leña (kJ/kg) (19.000 kJ/kg)
- ΔT_{H_2O} : $(T_{fa} - T_o)$, Variación de temperatura del agua (en el secadero), Temperatura final menos temperatura inicial.

El rendimiento en el horno (η_{th}) está dado por la siguiente ecuación:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}_{aire} \cdot C_{p,a} \cdot (T_{fa} - T_o)}{\dot{m}_c \cdot PCI} \quad (2)$$

Donde:

- \dot{m}_{aire} : Caudal de aire en el secadero (kg/h)
- $C_{p,a}$: Calor Específico del aire $(1.007 \frac{kJ}{kg \cdot K})$

Resultados

El cálculo del rendimiento térmico global del secadero (η_{ts}) arroja un valor de 12,8 %. Este rendimiento es bastante bajo, y el rendimiento térmico en el horno (η_{th}) un valor de 26,4 %.

Estos valores indican que el rendimiento del secadero (en relación al calor cedido por el horno) es de aproximadamente 50% (26,4/12,8), que es un valor típico para secaderos de tipo Columna Circular (IBERDROLA, 2010).

Teniendo en cuenta los bajos rendimientos obtenidos se han estudiado alternativas para mejorar la eficiencia, del sistema modificando las características del horno y del combustible utilizado, y manteniendo la misma tecnología de secadero (con un rendimiento promedio del 50%).

El valor de η_{ts} de un secadero de alto rendimiento puede estar alrededor del 75% (Deposito de documentos de la FAO, 1996), y el rendimiento del horno (η_{th}) puede llegar a 95% en hornos con

quemadores de combustible líquido o gaseoso, sin embargo con biomasa se alcanza un rendimiento de hasta 85% en hornos de alto rendimiento (IBERDROLA,2010).

La cantidad de energía necesaria por tonelada de arroz (Q_{cu}) para este tipo de secaderos con rendimiento de 50% ($\eta_s = 50\%$), está dada por la ecuación 3.

$$Q_{cu} = \frac{E_u}{\eta_s} = \frac{m_{H_2O_u} \cdot h_{H_2O} + m_{H_2O_u} \cdot C_{PH_2O} \cdot \Delta T_{H_2O}}{m_c \cdot PCI} \quad (3)$$

Donde:

Q_{cu} : Cantidad de Calor cedida al secadero (kJ/ton de arroz)

E_u : Energía útil de secado (kWh)

$m_{H_2O_u}$: Contenido de agua por cada tonelada de arroz. (kg/ton).

De acuerdo a los datos registrados en la empresa, el porcentaje promedio de humedad es de 11,6% de donde se tiene que el contenido de agua es de 116 Kg de agua por tonelada de arroz.

De acuerdo a los datos registrados en la empresa, el porcentaje promedio de humedad es de 11,6% de donde se tiene que el contenido de agua es de 116 Kg de agua por tonelada de arroz.

Aplicando la ecuación 3 se tiene $Q_{cu} = 602.188 \frac{kJ}{ton}$.

Análisis de Sustitución de la leña por cascarilla de arroz como combustible.

Se propone la utilización de un horno de parrilla para cascarilla de arroz con un rendimiento promedio del 60% ($\eta_{ha} = 60\%$).

La cantidad de cascarilla de arroz que se debe utilizar por tonelada se calcula mediante la ecuación 4.

$$m_{ca} = \frac{Q_{cu}}{PCI_{ca} \cdot \eta_{ha}} \quad (4)$$

Donde:

m_{ca} : Masa de cascarilla utilizada por cada tonelada de arroz cáscara húmedo procesada.

PCI_{ca} : Poder Calorífico Inferior de la cascarilla de arroz a 15% de humedad ($PCI_{ca} = 3150 \text{ kcal/kg} = 13188,42 \text{ kJ/kg}$).

El resultado del cálculo es $m_{ca} = 76 \frac{kg}{ton}$.

Considerando el precio de 60.000 Gs/m³ de leña (Agro Forestal Py, 2012) y la cantidad de leña utilizada en esta industria típica anualmente es de 290 m³/año (datos obtenidos de la industria estudiada), el ahorro (Ah) que permitirá la sustitución de combustible será de:

$$Ah = 60.000 \frac{Gs}{m^3} \cdot 290 m^3 = 17.400.000 \text{ Gs}$$

De un total de 30 secaderos encuestados y teniendo en cuenta la capacidad de procesamiento, se obtuvo que aproximadamente el 35% de la producción utiliza todavía leña para los requerimientos de energía térmica, mientras que el 65% restante, ya cuenta con hornos de cascarilla de arroz, con diferentes tipos de tecnologías.

La producción del periodo de zafra 2014-2015, será de 900.000 toneladas (La Nación, 2015), lo que implica que el 35% de esta producción aproximadamente 315.000 toneladas de arroz, son recepcionadas en secaderos a leña. Esta proporción representa una producción de cascarilla de arroz en este sector del 20% en base al arroz cáscara, equivalente a:

$$m_{caz} = 315.000 \cdot 0,2 = 63.000 \text{ ton}$$

Donde

- m_{caz} : Masa de cascarilla de arroz correspondiente al 35% de la producción total en el periodo de zafra 2014/2015.

Este desecho puede ser utilizado para el secado de granos de acuerdo al siguiente cálculo.

$$m_{sa} = 69.000.000 \text{kg} \cdot \frac{\text{ton}}{76 \text{kg}} = 909.090 \text{ ton}$$

Donde

- m_{sa} : Masa de arroz que puede ser secada con la cascarilla de arroz extraída del 35% de la producción de la zafra 2.014/2.015.

Cálculo de masa de cascarilla de arroz para extracción de humedad.

$$m_{can} = 315.000 \cdot \frac{76 \text{kg}}{\text{ton}} = 23.940 \text{ ton} \quad (5)$$

$$p = \frac{23.940 \text{ ton}}{63.000 \text{ ton}} \cdot 100 = 38\% \quad (6)$$

- m_{can} : Masa de cascarilla de arroz necesaria para secar 315.000 toneladas de arroz cáscara.
- p : Porcentaje de utilización para el secado en base al total de cascarilla de arroz producida.

Solo el 38% de la cascarilla de arroz es necesario para realizar el proceso de secado, el restante 62% puede ser utilizado en otros procesos industriales.

Para calcular la cantidad de leña ahorrada por la sustitución por cascarilla de arroz (m_{la}) se realiza el siguiente cálculo:

$$m_{la} = \frac{\eta_{ha} \cdot PCI_{ca} \cdot m_{can}}{\eta_{th} \cdot PCI} = \frac{60\% \cdot \frac{13.188 \text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 23.940 \text{ ton}}{26,4\% \cdot \frac{19.000 \text{kJ}}{\text{kg}}} = 54.409 \text{ ton}_{\text{leña}}$$

También existe un potencial ahorro de masa (m_{lae}) utilizando el exceso de cascarilla de arroz de acuerdo al siguiente cálculo:

$$m_{lae} = \frac{m_{la}}{p} \cdot (1 - p) = \frac{54.409 \text{ ton} \cdot 0,62}{0,38} = 88.773 \text{ ton}$$

En total la cantidad de leña ahorrada ($m_{lae} = m_{la} - m_{lae}$) sería de 143.182 ton.

Teniendo en cuenta que la densidad promedio de plantación de eucalipto es de 158,4 ton/ha (Empresas CMPC, 2012), la cantidad de área reforestada que se evita talar ($S_{la} = \frac{\text{ha}}{158,4 \text{ ton}} \cdot m_{lae}$) es de 903 hectáreas de eucalipto de forma anual.

Este ahorro podría mejorar implementando hornos de mayor eficiencia como por ejemplo el horno de lecho fluidizado, que tiene un rendimiento térmico del 85-90%. En este aspecto debería evaluarse para cada empresa cual es el horno más conveniente de acuerdo a la relación costo-beneficio, teniendo en cuenta que los hornos de este tipo son más costosos que los de parrilla, diseñados para quema de cascarilla.

En cuanto a la regulación de temperatura, este debe ser realizado mediante un control automático a través de sensores, PLC (Controlador Lógico Programable) y actuadores o variadores de velocidad del motor para variar el caudal de aire que ingresa al secadero, y de esta forma mantener la temperatura al valor óptimo para el secado de los granos. La regulación de la temperatura influye en el rendimiento energético del proceso de secado y también en el rendimiento de la calidad del producto.

Como resultado del estudio y los análisis realizados, surgen las siguientes propuestas:

a) El reemplazo de los hornos

Esta medida propone reemplazar el horno a leña utilizado actualmente en los secaderos de mediano porte, por un horno de quemado de cascarilla de arroz del tipo de parrilla con rendimiento igual o superior al 60%.

b) Utilización de Hornos de Lecho Fluidizado

Se recomienda la utilización hornos de lecho fluidizado para secaderos de capacidades superiores a 20 ton/día, estos poseen rendimientos más elevados que los hornos convencionales (entre 70% y 90%), con la desventaja de que requieren mayor inversión inicial y mantenimiento.

c) Utilización de la cascarilla para otros usos

Se recomienda utilizar el sobrante de cascarilla de arroz para la producción de pellets y briquetas para

la utilización en otros sectores industriales.

d) Control Automatizado

Para asegurar las condiciones óptimas de secado y disminuir despilfarros de energía se recomienda instalar controles automáticos de temperatura.

Conclusión

La utilización de la leña en el proceso de secado se realiza con bajos rendimientos térmicos, alrededor del 25% en el horno, debido a la escasa inversión en tecnología y la operación manual de los mismos.

En el secadero típico seleccionado se podría obtener un ahorro de 17.400.000 Gs. aproximadamente, de forma anual, reemplazando la tecnología de horno a leña por horno a cascarilla de arroz del tipo parrilla, lo que justifica plenamente la inversión.

Al utilizar la cascarilla de arroz, en hornos correctamente seleccionados y dimensionados, se disminuye el costo de secado y se ayuda a disminuir el impacto ambiental de desechar la cascarilla de arroz a los ríos, o la quema de estos, como actualmente sucede en algunas industrias locales.

Teniendo en cuenta que actualmente el 35 % de los secaderos operan con leña, se estaría ahorrando aproximadamente 903 hectáreas al año de masa forestal (principalmente eucalipto).

Bibliografía

- Chippe Villacrés, E. J. (Septiembre de 2008). Mejoramiento de una Secadora por Tandas de una Piladora de Arroz. Recuperado el 12 de Junio de 2012, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/12200>
- Comunidad Eduambiental. (2012). <http://comunidad.eduambiental.org/>. Obtenido de <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/cursos/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>
- Deposito de Documentos de la FAO. (1996). Secado de granos y secadoras... Recuperado el 06 de 12 de 2012, de <http://www.fao.org/docrep/x5028s/x5028s01.htm#Prologo>
Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias, (01 de Junio de 2010). Ministerio de Agricultura y Ganadería. (O. E. S.R.L., Ed.) Recuperado el 6 de Mayo de 2012, de <http://www.mag.gov.py/Censo/Sintesis%20Estad%20C3%ADstic%202008-2009.pdf>

- Friedman, A., & Weil, B. (2010). Arroz Negocio. Creciente. Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).
- IBERDROLA. (2010). Energía de la Biomasa (IBERDROLA, Ed.) Recuperado el 12 de Junio de 2012, de <http://es.scribd.com/doc/44778160/Cuadernos-Energias-Renovables-Para-Todos-Biomasa>
- IDAE (2008). Biomasa-Industria (I-I, p. Energía, Ed.) Recuperado el 01 de Mayo de 2012, de http://www.idae.es/index.php/mod_documento/mem_descarga?file=/documentos_10980_Biomasa_industria_A2008_A_402485c2.pdf
- Kepler Weber. (2011). Recuperado el 15 de Mayo de 2012, de <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/Jornadas2011/3%20-%20-%20-%20Kepler%20Weber%20-%20Secado%20-%20almacenaje%20de%20arroz.pdf>
- LA NACION. (22 de Abril de 2015). LA NACION. Recuperado el 24 de Junio de 2015, de <http://www.lanacion.com.py/2015/04/22/inversion-tecnologica-es-la-fortaleza-del-sector-arrocero/>
- Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO INTEGRAL. (M. C. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Ed.) Recuperado el 11 de Junio de 2012, de <http://www.soleio.org.co/pdf/ori/v14s1/v14s1a13.pdf>
- PRECOP - EEA INTA Concepción del Uruguay. (2007). Arroz. Eficiencia de cosecha y Postcosecha. Concepción - Uruguay: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Universidad de la República del Uruguay. (2012). EL ARROZ COMO COMPLEJO AGRO INDUSTRIAL EN URUGUAY. Recuperado el 24 de Diciembre de 2012, de <http://www.fagro.edu.uy/~ira/ut/materiales/grupo9/grupo%209%20sub%20B%20arroz.pdf>
- Viceministerio de Minas y Energía. (Junio de 2012). Estructura de la Matriz Energética Año 2010. Recuperado el 12 de Diciembre de 2012, de http://www.ssme.gov.py/vrime/pdf/balance2011/BE_N2011Paraguay-JULIO%202012.pdf