

Implementación de un horno quemador con sistema de automatización y control incorporado para las agroindustrias arroceras de la ciudad de Barranquilla utilizando como combustible cascarilla de arroz

Nombre del estudiante
Jesus Eduardo Solano Sanchez

Trabajo de Investigación o Tesis Doctoral como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Tutor
Jair Aguado Quintero

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la implementación de un horno quemador para las agroindustrias arroceras utilizando como combustible cascarilla de arroz. Esta nueva tecnología ha permitido el aprovechamiento controlado de la cascarilla de arroz para el uso como combustible. Las investigaciones realizadas a la cascarilla de arroz, se basan en encontrar nuevas aplicaciones, aprovechando sus propiedades físicas y químicas. Los estudios arrojan interesantes e innovadoras soluciones para encontrar un eficiente y sostenible uso.

La implementación de estos nuevos hornos quemador utiliza como combustible cascarilla de arroz, garantiza un mejor rendimiento, menor contaminación en el proceso y bajos costos para su operación.

Como parte de la metodología, se realizaron cálculos de transferencia de calor para determinar el volumen de cascarilla de arroz en la cámara de combustión, dimensiones y características de diseño del equipo. Se realizará balance de masa del proceso de combustión de la cascarilla de arroz y se determinarán los caudales de aire y combustible necesarios para garantizar la temperatura operación óptima para el proceso de secado.

Este proyecto iniciará con el estudio del suelo y adecuación del área para soportar el peso de la estructura. Se continuará con los cálculos termodinámicos, estructurales y mecánicos. De acuerdo a estos cálculos vendrá el diseño en 3D de los equipos a implementar que cumplan con las especificaciones técnicas de diseño. Se realizarán las pruebas de funcionamiento y verificación del sistema de automatización y control el cual controlará la temperatura óptima del proceso de secado. Luego que las pruebas de funcionamiento sea efectiva y el horno trabaje según lo deseado, se prosigue en entregar la documentación técnica como plano estructural, mecánico y eléctrico, además, se hará entrega de ficha técnica de los equipos instalados y troubleshooting.

Antecedentes:

La cascarilla de arroz tiene variedad de aplicaciones en su uso como combustible, ya sea en las industrias o agroindustrias. Algunos estudios han demostrado que sus propiedades térmicas sustentan su uso como fuente de energía para la combustión en hornos. Empresas como Superbrix, diseñan y construyen hornos quemadores para las agroindustrias arroceras en toda la costa, son pioneros con este tipo de tecnología y brindan un resultado óptimo en las empresas que lo usan.

Se desea implementar un horno quemador que utilice como combustible cascarilla de arroz para aumentar el rendimiento de los hornos convencionales y así suprimir costos en combustibles y bajos costos en mantenimiento.

Objetivo General

Implementación de un horno quemador utilizando como combustible cascarilla de arroz para las agroindustrias arroceras.

Objetivo Específicos

- Estudiar y analizar las propiedades físicas y químicas de la cascarilla de arroz para el uso como combustible.
- Calcular los indicadores termodinámicos que garanticen la temperatura ideal para el proceso de secado del arroz.
- Identificar dimensiones del horno quemador que me permitan diseñar y estructurar las condiciones óptimas para el proceso de secado.
- Realizar evaluación financiera en costos de combustibles del nuevo horno quemador con respecto al horno quemador existente.

Materiales y Métodos:

El cálculo de los indicadores termodinámicos del horno es la base fundamental para determinar los parámetros del diseño físico del mismo, entiéndase por estos: volumen de la cámara de combustión, tipo de intercambiador de calor y la estructura del horno quemador.

Teniendo en cuenta que la temperatura de trabajo del horno quemador estará en el rango comprendido entre los 550°C y los 490°C (rango ideal para la combustión de la cascarilla de arroz) y la potencia de generación esperada será menor a los 290 KW/m³.

Partiendo de este planteamiento la metodología para el cálculo de los diferentes parámetros del horno es la siguiente:

Determinación del volumen de producto a secar.

$$V = m / \bar{\delta} \quad (1)$$

En dicha ecuación:

V = Volumen de la cascarilla de arroz (m³)

M = Masa de la cascarilla de arroz (kg)

$\bar{\delta}$ = Densidad aparente de la cascarilla de arroz (kg/m³)

Cálculo de la cantidad de agua a remover de los granos en una pasada.

Teniendo en cuenta que el porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz es de menos de 10%:

$$m_w = m_m (\phi_i - \phi_f) / (1 - \phi_f) / 100 \quad (2)$$

En dicha ecuación:

M_w = La cantidad de agua a remover (kg)

M_m = Masa de granos a secar (kg)

ϕ_f = Humedad final del arroz

Cálculo del calor requerido en la torre de secado.

El calor requerido (Q_r) en la torre de secado es la cantidad de calor necesario para disminuir la humedad de la cascarilla de arroz teniendo en cuenta las posibles pérdidas que se puede tener en esta sección.

$$Q_r = Q_{\text{útil}} + Q_{\text{pp}} + Q_{\text{ps}} \quad (3)$$

En la misma:

Q_{pp} = Calor perdido en las paredes de la misma torre de secado y los conductos que transportan el aire caliente desde el horno hasta la torre.

Q_{ps} = Cantidad de calor que es desaprovechado por el aire que sale al ambiente después del secado.

Calor útil en la torre de secado (Q_{útil}):

$$Q_{\text{útil}} = Q_s + Q_l \quad (4)$$

La ecuación (5) relaciona los parámetros para determinar el calor sensible de la cascarilla de arroz.

$$Q_s = \dot{m}_{ac} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (5)$$

En la misma:

Q_s = Calor sensible de la cascarilla de arroz (W)

\dot{m}_{ac} = Flujo másico de la cascarilla de arroz (kg/s)

C_p = Calor específico de la cascarilla de arroz (kJ/kg°C)

ΔT = Variación de temperatura (T_s - T_a)

T_s = Temperatura del secado (°C)

T_a = Temperatura del ambiente (°C)

La ecuación (6) relaciona los parámetros para determinar el calor latente de la cascarilla de arroz.

$$Q_l = m_w \cdot h_{fg} \quad (6)$$

En la misma:

Q_l = Calor latente de la cascarilla de arroz (kJ)

M_w = Masa de agua a removerse (kg)

H_{fg} = Calor de vaporización del agua (kJ/kg)

Pérdidas de calor en la torre de secado (Qpp):

Las pérdidas de calor en la torre de secado se dan por las paredes del mismo. Teniendo en cuenta el tipo de material de la torre y su conductividad térmica, la velocidad del viento de la zona entre otros parámetros se puede definir estas pérdidas como se muestra a continuación.

Coefficiente de conversión interna en la torre de secado.

Este se determina con la ecuación (7) como se muestra a continuación:

$$H_i = (U_n \cdot k) / D \quad (7)$$

Donde:

H_i = Coeficiente de convección (W/m²K)

k = Coeficiente de conductividad de la superficie en contacto (W/mK)

D = Diámetro del conducto (m)

U_n = Criterio de Nusselt

En este caso, como el conducto es circular, utilizaremos el radio hidráulico R_H . Este parámetro es calculado por las fórmulas de Huebscher (8):

$$R_H = (1 - (\sin \phi / \phi)) \cdot (D/4) \quad (8)$$

En las mismas:

ϕ = Angulo

El criterio de Nusselt depende del número de Reynolds que se determina por la ecuación (9) (Incropera et al. p. 343).

$$Re = (V_s \cdot R_H) / \nu_s \quad [10]$$

En esta:

V_s = La velocidad del aire caliente para el secado (m/s)

ν_s = La viscosidad del aire caliente para el secado (m²/s)

Cuando:

$Re < 10,000$ $Nu = 0,66 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,3}$ (Flujo laminar)

$Re > 10,000$ $Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$ (Flujo turbulento)

· Coeficiente de convección externa en la torre de secado.

$$h_o = 2,8 \cdot 3 \cdot V_a \quad (10)$$

Donde V_a es la velocidad del viento de la zona donde está el secadero y h_o el coeficiente de convección externa (W/m²K).

· Coeficiente global de transferencia de calor en la pared de la torre de secado.

$$U_o = 1 / (R_1 + R_2 + R_3) \quad (11)$$

Donde:

R_1 = Resistencia convectiva interna.

R_2 = Resistencia debido a la lámina de acero.

R_3 = Resistencia convección externa.

Para después determinar las pérdidas de calor a través de las paredes de la torre de secado utilizando la ecuación (12)

$$Q_{pp} = U_o \cdot A_t \cdot (T_h - T_a) \quad (12)$$

Donde:

A_t = Es el área de la torre de secado (m²)

T_h = La temperatura máxima dentro de la torre (°C)

T_a = La temperatura del ambiente (°C)

Pérdidas de calor por la salida de aire utilizado en el secado (Qps):

$$Q_{ps} = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (13)$$

Donde:

\dot{m}_a = Flujo de aire necesario para el secado (kg/s)

C_p = Calor específico del aire (kJ/kg°C)

ΔT = Diferencia de temperatura entre la salida de la torre y el ambiente (°C)

Calor requerido para el proceso de secado.

Finalmente se tiene que el calor requerido para el proceso de secado es la suma del calor requerido por la torre de secado y las pérdidas de calor en las paredes del horno.

$$Q_{req} = Q_{tbs} + Q_{pcc} + Q_{pic} + Q_{pchim} \quad (14)$$

Calor entregado a un tubo del intercambiador.

El calor que se debe entregar a un tubo del intercambiador de calor es conocido también como el calor útil en el tubo y es el calor necesario para lograr la variación de la temperatura del aire que circula por el interior del mismo:

$$Q_{tb} = Q_{req} / [U_d \cdot A_{tb} \cdot (T_m - T_a) \cdot N] \quad (15)$$

Donde:

T_m = Temperatura del aire calentado (°C)

T_a = Temperatura del ambiente (°C)

A_{tb} = El área lateral de transferencia de calor en un tubo (m²)

N = Número de tubos

Cálculo del flujo de combustible.

$$\dot{m}_{ca} = Q_{req} / PC_{Ica} \quad (16)$$

Cantidad de aire necesario para la combustión (Areal).

$$A_{real} = n \cdot A_{min} \quad (17)$$

Donde:

N = Exceso de aire (valor fijado para el uso de combustibles sólidos en Cuba).

$$A_{min} = 8,89 \cdot \{ W_c + 3[(W_o - W_s)/8] \} \quad (18)$$

Donde:

Los valores W_x son los valores del análisis gravimétrico de cada sustancia que forma parte del combustible.

Volumen de la cámara de combustión.

El volumen de la cámara de combustión se tiene como la suma del volumen de los gases proveniente de la quema (V_g), lo cual se determine como el volumen de gases producido por cada kW de calor producido por el calor generado en la cámara de combustión y el volumen de la ceniza de la combustión ($V_{cenizas}$).

$$V_{cc} = V_g + V_{cenizas} \quad (19)$$

Resultados:

De acuerdo los resultados obtenidos para el funcionamiento de este horno. La cascarilla de arroz redujo su humedad a un 40% de la humedad inicial. Luego de reducir esta humedad, la cascarilla es almacenada en silos a temperatura constante hasta obtener las propiedades adecuadas para el quemado. El objetivo es asegurar que la combustión sea completa y eficiente para generar la temperatura adecuada y así tener un proceso de secado óptimo.

Para iniciar este proceso de generación de calor, se debe invertir inicialmente 8.000 Kg de cascarilla para obtener 3.500 Kcal/Kg. Esto garantizará que la temperatura de salida del horno hacia la torre de secado de arroz sea la adecuada. Además, se observó que el incremento de temperatura del medio ambiente en la zona donde está ubicada la planta, menor sería la cantidad de cascarilla de arroz a quemar, no obstante, el sistema de automatización y control incorporado, cuenta con la capacidad de tener en cuenta estas variables y así controlar la temperatura de secado.

Conclusiones:

Con respecto a los estudios realizados a la cascarilla de arroz, se comprobó que la propuesta de implementar hornos quemadores utilizando como combustible cascarilla de arroz, es una alternativa viable desde el punto de vista económico y medioambiental, generando ahorros considerables en ambos aspectos. Se debe tener presente que la dimensión del horno depende de la cantidad de arroz que se desee secar.

Palabras clave: Horno quemador, cálculo termodinámico, estructural y mecánico. Diseño mecánico, estructural y eléctrico. Troubleshooting.

REFERENCIAS

1. Gonzalo Guillermo Moreno Contreras; (12 de junio de 2020); Diseño, cálculo y construcción de un horno de lecho fluidizado alimentado con cascarilla de arroz para secado de arroz Paddy; Pamplona – Norte de Santander; Ingenio Magno.
2. MSc. Michel Errasti Cabrera, MSc. Antonio Werner de Dios Ortega, MSc. Andy Amaury Sánchez Rodríguez, MSc. Carlos Fernández Aballí Altamirano; (Enero.-Abril. 2015); Diseño de un sistema para el aprovechamiento integral de la cáscara de arroz; La Habana - Cuba.
3. Pedro Luis Díaz Navarro¹, Julio Rivero González, Daniel Regalado Nuñez; (Agosto 2016); Diseño de un horno para calentar aire empleando la cascarilla del arroz como combustible; Pinar del Río – Cuba.
4. Sergio Andrés Ramón-Ramón, Javier Alfonso Cárdenas-Gutiérrez, Jhan Piero Rojas-Suárez; Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado; (Julio / Diciembre 2018); Cúcuta – Colombia; Mundo Fesc.