

REDISEÑO DE UN SECADOR ROTATORIO PARA TRATAR QUINUA EN GRANO

REDESIED ROTARY DRYER TO TREAT QUINOA GRAIN

Mario Lucio Hilaquita Chiquipa*

| RESUMEN | ABSTRACT | RESUMO |
|---|---|---|
| <p>Se efectuó un rediseño analítico, mecánico, eléctrico y electrónico, de un secador rotatorio para tratar quinua en grano, construido por estudiantes de Química Industrial en semestres anteriores, con el asesoramiento del autor.</p> <p>El secador presentaba problemas de operación, que se lograron modificar a través de esta investigación, mejorando integralmente su construcción – funcionamiento. Prueba de esto son la eficiencia de operación (81,68 por ciento) y la Humedad en Base Húmeda de equilibrio (HBH = 7,75 por ciento), valor inferior al 9,00 por ciento que establece como máximo la Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú.</p> | <p>An analytical, mechanical, electrical and electronic redesign of a rotary dryer to treat quinoa grain, built by students of Industrial Chemistry in previous semesters was carried out, with the advice of the autor.</p> <p>The dryer presented operational problems, which were modified through this investigation, reaching an overall improvement in its construction – operation. Proof of this are the efficiency of operation (81.68 percent) and the Moisture in Humid Base of equilibrium (HBH = 7.75 percent), value lower than the 9.0 percent that establishes as a maximum la Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú.</p> | <p>Foi realizado um redesenho analítico, mecânico, elétrico e eletrônico de um secador rotativo para o tratamento de grãos de quinua, construído por estudantes de Química Industrial em semestres anteriores, com o conselho do autor.</p> <p>Secador apresentou problemas operacionais, que foram modificados através desta investigação, alcançando uma melhoria geral em sua construção – operação. Prova disso são a eficiência de operação (81,68%) e a umidade em Base Úmida de Equilíbrio (HBH = 7,75%), valor inferior aos 9,00% que estabelece como máximo a Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú.</p> |
| <p>PALABRAS CLAVE: Humedad del grano de quinua, secador rotatorio, transferencia de masa, elementos de transmisión de calor, tiempo de paso.</p> | <p>KEYWORDS: Moisture of quinoa grain, rotary dryer, mass transfer, heat transfer elements, passage time.</p> | <p>PALAVRAS-CHAVE: Umidade de grãos de quinua, secador rotativo, transferência de calor, elementos de transferência de calor, tempo de passagem.</p> |
| <p>History of the article: Received 23/04/2018. Style review 06/05/2018. Accepted 29/06/2018.</p> | | |

INTRODUCCIÓN

En general, por medio del secado¹, se puede tratar materia húmeda y arrastrar el vapor de agua a través del paso de un fluido gaseoso caliente (cantidades pequeñas de agua). O hacer que el agua, evapore desde un material mojado (cantidades mayores de agua) incrementando la temperatura hasta llegar al punto de ebullición del agua aplicando calor.

A nivel industrial, el secado es una operación unitaria caracterizada por la transferencia simultánea de masa y energía (calor) a partir de su verificación en dispositivos tecnológicos específicos denominados secadores. Entre los secadores utilizados para tratar materia granular están los secadores rotatorios directos e indirectos². En un secador rotatorio directo, el lugar donde se efectúa el secado, es un tubo levemente inclinado por el extremo superior de longitud específica que gira sobre su eje y sirve de ingreso (alimentación) para el material granular húmedo que deslizándose a través del contacto directo con el fluido caliente arrastra la humedad del material a medida que éste avanza hacia el extremo inferior del tubo.

En consecuencia, el uso y aplicación de los principios del secado, han servido para promover el rediseño de un secador rotatorio directo que reduzca la humedad inicial de la quinua en grano y mejore su calidad.

DESARROLLO

En toda operación de secado, es sustancial determinar los coeficientes de transferencia másica y de transmisión de calor. De manera que para el rediseño, se toman en cuenta, elementos de transmisión a partir de la fase gaseosa y en relación molar para la transferencia de masa y calor.

¹ El secado se refiere a la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. El término secado se usa también con referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, como benceno o disolventes orgánicos, de los materiales sólidos.

² En los secadores rotatorios indirectos, el calentamiento es por contacto indirecto, es decir, a través de las paredes calientes del tubo.

Normativa general, diseño de secadores rotatorios

- Los secadores rotatorios son más económicos cuando el número de unidades o elementos de transmisión N_{OT} está entre 1,5 a 2,5.
- La razón L/D (Longitud/Diámetro), que resulta más eficiente en la práctica industrial se encuentra entre 4 a 10.
- La capacidad de carga para una buena eficiencia debe estar comprendida entre un 10 % a un 15% del volumen total de la cámara de secado para los que tienen elevadores.
- La retención del material en el secador debe ser mayor al tiempo de paso por éste, para garantizar un adecuado secado (eliminar la humedad solicitada).
- El tiempo de paso se define como la retención dividida por la velocidad de alimentación y se puede medir directamente en estos secadores, determinando directamente los valores de la retención y velocidad de alimentación. No obstante, esta medida es un poco difícil, pero una forma de medir experimentalmente es añadiendo uno o dos kilos de material inerte identificable fácilmente y analizarlo en el producto de descarga.
- El tiempo de paso en secadores rotatorios se calcula a partir de las relaciones desarrolladas por Friedman y Marshall, tomando en cuenta la retención dividida por la velocidad de alimentación, y se pueden medir directamente.

La quinua (*Chenopodium quinoa Wild*)

Tiene una gran adaptabilidad, tanto en latitud como en altitud, encontrándose en Bolivia en el área occidental. Por sus características nutricionales, contenido de proteínas, vitaminas y minerales, constituye una de las bases en la alimentación del poblador de la región y en estos últimos años se ha extendido su consumo por el mundo.

Requisitos de calidad

De acuerdo con los trabajos realizados en la Planta Piloto de alimentos del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, el producto final debería tener las siguientes características:

| | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Contenido de saponina: | Trazas |
| Humedad: | 9 porciento |
| Material extraño: | Máximo 25 mg.lb ⁻¹ |
| Piedras: | 0 |
| Calificado como proceso F.V.O. | Producto orgánico |

Contenido de humedad:

El grano es higroscópico, es decir, que puede ganar o perder humedad del medio ambiente. Un alto contenido de agua, mayor a 14 porciento no es deseable ni recomendable para almacenar quinua en grano.

Parte experimental, y resultados³

Superficie interfacial específica de la quinua

La superficie interfacial específica del sólido (quinua) es una propiedad de los sólidos que relaciona el área total (m²) y el volumen de éste (m³) y es calculada a partir de la distribución del tamaño de partículas a y para este caso es 170,003 m²/m³.

Humedad de entrada, salida, crítica, de equilibrio base seca del sólido y aire en la cámara de secado

El tiempo de operación fue de 18,2 minutos con una carga inicial de 3141,972 gramos de quinua con una humedad en base seca de 0,296 g H₂O por gramo de sólido. Al salir de la cámara de secado la humedad de equilibrio X* es 0,084 kg H₂O por kg de sólido seco, y la Humedad en Base Húmeda en el equilibrio es: HBH = 7,75 porciento.



Crédito: L.M. Hilaquita Ch., 2017

Medición de variables de operación sin carga y con carga

Humedades absolutas y temperaturas, fase gaseosa dentro de la cámara de secado

Para operar estas variables en el diagrama psicrométrico, es necesaria una corrección para las condiciones de la ciudad de La Paz (P_{atm} = 495 mmHg).

$$R_{r\ n/m} \cdot P_{n/m} = R_{r\ Lp} \cdot P_{Lp}$$

$$R_{r\ n/m.a.} = 20,20 \% \quad , \quad R_{r\ n/m(l)} = 20,20 \%$$

Humedades absolutas:

$$Y_w = 0,0288 \text{ kg H}_2\text{O por kg gas}$$

$$Y_1 = 0,0167 \text{ kg H}_2\text{O por kg gas}$$

$$Y_2 = 0,0027 \text{ kg H}_2\text{O por kg gas}$$

$$\text{Temperatura de bulbo húmedo } T_w = 29,7^\circ\text{C}$$

Posteriormente se determinó la humedad absoluta que separa las dos zonas en la cámara de secado, cálculo en función de la transferencia de masa. El balance de masa a partir de un estado estacionario es:

$$Y_b = 0,0035 \text{ kg H}_2\text{O por kg gas}$$

Variables del flujo de aire en la cámara de secado

Con la ayuda de dos anemó-termómetros digitales, se realizan las mediciones en la entrada y salida de la cámara de secado. La tabla 1, muestra los valores promedio obtenidos.

Tabla 1
Variables de operación del flujo de aire dentro de la cámara de secado

| VARIABLE | Unidades | VALOR |
|--|--|------------|
| Velocidad en vacío | v (m. s ⁻¹) | 0,655 |
| Velocidad con carga | v (m. s ⁻¹) | 0,585 |
| Área | A (m ²) | 0,03431 |
| Caudal | Q (m ³ .s ⁻¹) | 0,02007135 |
| Temperatura | T _{gas} (°C) | 56,19 |
| Volumen del aire | V _H (m ³ . kg _{gas} ⁻¹) | 1,45145 |
| Masa de aire seco | Ms (kg _{gas} .s ⁻¹) | 0,0138 |
| Masa velocidad del gas unidad de tiempo segundos | G (kg _{gas} .s ⁻¹ .m ⁻²) | 0,4030 |
| Masa velocidad del gas unidad de tiempo horas | G (kg _{gas} .h ⁻¹ .m ⁻²) | 1450,9628 |

Fuente: Elaboración propia

Características del secador

Ver tabla 2

Tabla 2
Características del secador rediseñado

| | |
|-------------------------------------|---|
| Números de elementos de transmisión | (N _{IG}) _{III} = 1,6 |
| Altura del elemento de transmisión | H _{IG} = 0,8888 m |
| Longitud del secador | Z = 0,8888 . (0,7376 + 1,6) = 2,08 m |

$$\text{Difusividad } D_{AB} = 0,0113 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Esta determinación, fue realizada en función al flujo másico: entrada de quinua a la cámara de secado en estado estacionario.

Fuente: Elaboración propia

³ Efectuada en el laboratorio taller de la carrera de Química Industrial, en colaboración con los estudiantes de Operaciones de Separación.

Coefficiente de transferencia de masa y porcentaje de carga en la cámara

Coefficiente de transferencia de masa

Esta determinación permite conocer la cantidad de aire seco necesario para arrastrar la humedad de la quinua hasta las condiciones finales de equilibrio:

$$F_G = [1450,9628 \text{ (kg}_{\text{gas}} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}) \cdot (0,8888\text{m})^{-1} \cdot (170,003)^{-1} \cdot \text{m}]$$

$$= 9,6028 \text{ kg}_{\text{gas}} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Porcentaje de carga en la cámara

$$V_{S_{\text{quinua}}} = 1,71 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}, V_{\text{secador}} = 0,0068614 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\% \text{carga} = 100 V_{S_{\text{quinua}}} \cdot (V_{\text{secador}})^{-1} = 2,5$$

Calor transmitido

Este cálculo es muy importante porque permite conocer la cantidad de energía transmitida desde el calefactor hacia la quinua en grano, y también es útil para futuros balances de energía.

$$Q_T = 874,1653 \text{ (kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}) \cdot 0,068614 \text{ (m}^3\text{)} \cdot 41,55 \text{°C}$$

$$= 2492,168 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

Eficiencia del secador

Permite conocer del total de energía, cuanta energía se utiliza para realizar el secado.

$$\eta = 100 (2492,168) \text{ (kcal} \cdot \text{h}^{-1}) \cdot (3052,2)^{-1} \text{ kcal}^{-1} \cdot \text{h}$$

$$= 81,68 \%$$

Tiempo de paso

Esta variable es muy importante para la programación del porcentaje de producción, ya que con este cálculo se determina el tiempo que el sólido permanecerá dentro de la cámara de secado, aplicando las relaciones de Friedman y Marshall corresponde a **8,021 minutos**.

CONCLUSIONES

Parámetros de diseño, el secador se encuentra dentro del rango óptimo ya que tiene números de elementos de:

$$N_{OT} = 0,7376 + 1,600 = 2,3376$$

Las dimensiones del secador tienen una razón que está dentro del rango para secadores y es igual a:

$$Z/D_{int} = 2 / 0,209 = 9,57$$

Con relación al porcentaje de carga, este llega a 2,5 porciento, porque el secador es de túnel. En el futuro se puede colocar elevadores y llegar al intervalo de 10 a 15 porciento del volumen del secador.

Aún teniendo un bajo porcentaje de carga, se llegó a una eficiencia del 81,68 porciento, valor satisfactorio que se puede mejorar, disminuyendo las fugas que tiene el secador.

La Humedad en Base Húmeda en el equilibrio es: **HBH = 7,75 porciento**. Inferior al **9 porciento** que establece como máximo la Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú.

Uno de los problemas que se tenía según información de los estudiantes que fueron a trabajar a empresas del rubro fue que el grano al momento de secar, se llenaba de grietas muy notorias, situación que no se presentó en el secado experimental efectuado, lo cual es muy importante para poder realizar la exportación del grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Geankoplis, C. J., 1998, Procesos de transporte y operaciones unitarias, Editorial Continental SA, México,
- Treybal, R. E., 1980, Operaciones de transferencia de masa, Editorial McGraw – Hill., México,
- McCabe, W., Smith, H., 1991, Operaciones unitarias en Ingeniería Química, Editorial McGraw-Hill, México,
- Ocon, J., Tojo, G., 1970, Problemas de Ingeniería Química, Editorial Aguilar, México,
- Perry, R., 1970, Manual del Ingeniero Químico, Editorial MacGraw – Hill, México,
- Nonhebel, G.M.A., 1980, El Secado de sólidos en la industria química, Editorial Reverté SA, México,
- Brown, G.G., 1980, Operaciones básicas de la Ingeniería Química, Editorial Marín, Madrid – España,
- Mancilla, G.A., 1998, Introducción a las operaciones de separación, Textos Docentes,
- E.J. Henley, E.J., Seader, J.D., 2000, Operaciones de separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química, Editorial Reverté SA. México,
- Yunus, A.C., 2007, Transferencia de calor y masa un enfoque práctico, tercera edición Mc Graw – Hill, México,
- http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo4.pdf, Proceso de secado, Consulta: 02/09/2017,
- http://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING- RIMERO/boletin14/URL_14 QUI02. Consulta: 05/08/2017,
- <http://www.fao.org/docrep/018/ar364s/ar364s.pdf>, Consulta: 02/08/2017.

(*), Licenciado en Química Industrial, Docente Investigador carrera de Química Industrial gestión 2017, MSc. Gestión del Mantenimiento, Facultad de Tecnología – UMSA.