



“Diseño, Construcción y Operación de un secador de lecho fluidizado, destinado para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK”

Freire C. Ordoñez, García R. Burbano

Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional Sek, Quito-Ecuador

11 de Septiembre del 2014.

Resumen

El secado es una de las operaciones unitarias más utilizadas a lo largo de la historia. En la antigüedad se convirtió en el principal método de conservación de los alimentos. Con el pasar del tiempo el secado se fue tecnificando, con lo cual se diseñaron varios equipos con diferentes tipos de aplicaciones. Sus orígenes radican en el estudio de la transferencia de calor y masa, razón por la cual tanto científicos como ingenieros en todo el mundo han investigado diferentes métodos para realizar el proceso de secado con mayor eficiencia.

Los objetivos del actual proyecto son diseñar, construir y operar un secador de lecho fluidizado que será destinado al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Internacional SEK, con la finalidad de asentar los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes, aplicándolos a la práctica para una adecuada formación profesional.

Abstract

Drying is one of the most widely used unit operations throughout history. In ancient times it became the main method of food preservation. With the passage of time, the drying was more technical, thus multiple machines with different types of applications were designed. Its origin lies in the study of heat and mass transfer, which is why both scientists and engineers worldwide have investigated various methods to make the drying process more effectively.

The objectives of the current project are to design, build and operate a fluidized bed dryer that will go to Laboratory Unit Operations SEK International University, in order to consolidate the theoretical knowledge acquired by the students, applying them to practice for proper vocational training.

Dirección autores: Facultad de Ciencias Ambientales UISEK, Campus Miguel de Cervantes. Alberto Einstein, s/n y 5ta transversal, Quito. Ecuador

E-mail: cd_sirc16@hotmail.com; ronny.garcia.3734@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Comprometidos con el objetivo de fortalecer la educación superior en el país, con visión científica y humanista, articulada a los objetivos para el Buen Vivir, fomentando proyectos y actividades de ciencia y tecnología, e incorporación en las mallas curriculares, contenidos vinculados a la aplicación práctica de los conocimientos teóricos recibidos en las aulas de clase, se ha planteado la construcción de un secador de lecho fluidizado destinado para el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Internacional SEK, que permitirá a los estudiantes de dicho establecimiento educativo, el entendimiento práctico de la operación de secado por fluidización de sólidos, brindando un enfoque industrial a las operaciones unitarias.

Conscientes del problema de desnutrición en el Ecuador, tanto en niños como en adultos, el equipo a construirse se enfocará en el secado de granos de consumo masivo, generando conciencia social en los estudiantes, quienes a través de la práctica desarrollaran conocimientos técnicos aplicables a la solución de muchos de los problemas sociales que atraviesa el país.

El secado por lecho fluidizado, es uno de los principales métodos empleados en la industria alimenticia y química, por su alta eficiencia y cortos tiempos de operación. El método consiste en hacer pasar una corriente de aire por un lecho o producto a secar.

METODOLOGÍA

El proyecto de investigación, concerniente al diseño, construcción y operacionalización de un secador de lecho fluidizado, se identifica como un estudio exploratorio ya que el desarrollo del proyecto de investigación se llevará a cabo mediante la investigación y consulta de fuentes bibliográficas previamente establecidas con los cuales se identificarán las variables tanto de diseño, como de construcción.

El secado es una operación unitaria para varios fines como la conservación, uno de los secadores más utilizados en la industria alimenticia y química es el secador por fluidización con aire, el cual consiste en someter a las partículas (material granular para el secado) a corrientes de aire caliente, de tal manera que éstas floten en dicho fluido.

La fluidización es una operación en la que un sólido se pone en contacto con un líquido o un gas, adquiriendo el conjunto unas propiedades similares a las de los fluidos.

Por lo general se hace circular el fluido en forma ascendente a través de un tubo vertical, en su base se asienta el lecho de partículas sólidas, cuando el aire lo atraviesa a baja velocidad pasa a través de los huecos libres que quedan entre granos y no es capaz de moverlos, este estado se conoce como lecho fijo (González, 2008).

Cuando aumenta la velocidad del fluido, incrementa también la caída de presión en el lecho hasta que la fuerza que ejerce el aire equilibre el peso del sólido por cada unidad de superficie, entonces el lecho adquiere las características y propiedades del fluido, este estado se conoce como fluidización incipiente y tiene velocidad mínima de fluidización, a partir de este valor, si aumenta la velocidad del fluido es posible levantar el grano, esta fase se denomina como lecho expandido (González, 2008).

Para el proceso de secado, el lecho se fluidiza mediante un flujo de aire caliente lo que resulta en unas condiciones que son ideales para la aplicación. Existe un contacto íntimo entre el gas y el sólido a una velocidad que provoca coeficientes de transferencia de calor muy altos, con la combinación de la conducción y la convección. Si a esto le aunamos una humedad relativa, obtenemos evaporación casi instantánea a lo que le sigue una importante caída en la temperatura del gas (Nonhebel & Moss, 2002).

El lecho fluidizado se usa en una amplia gama de industrias debido a su posible gran capacidad, su costo bajo de construcción, fácil operación y alta

eficiencia térmica. La única limitación es que el sólido pueda ser fluidizado por un gas (Nonhebel & Moss, 2002).

Según los resultados obtenidos del diseño y construcción de un secador de lecho fluidizado en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo se explica que para realizar el diseño y construcción del equipo se emplean análisis de laboratorio de una muestra a secar seleccionada aleatoriamente con un contenido de humedad inicial de 16% llevando hasta una humedad básica (12-14%) según norma INEN (Gonzáles Sánchez & Paucar Torosina, 2009).

Del diseño y construcción de un secador de granos por fluidización en la Escuela Politécnica Nacional, se entendió que los factores más representativos del agente secante que intervienen en el proceso son: presión, temperatura, viscosidad, densidad; estos parámetros varían de acuerdo al lugar donde se realice el fenómeno de fluidización e influyen en forma directa en el tiempo y calidad del secado de la partícula (Jaramillo & Narváez, 2012).

Gonzalález, A. (2008), citado por Jaramillo, A. (2012), sostiene que cuando el aire fluye en forma ascendente a través del lecho fijo sin ninguna restricción en la superficie, la caída de presión incrementa linealmente con la velocidad del fluido hasta el punto en que el grano empieza a levantarse, es decir que la fuerza del aire equilibra al peso del maíz, la caída de presión a partir de este punto se mantiene constante.

La bibliografía recopilada acerca del diseño y construcción de secadores por fluidización, permite evidenciar la efectividad de este tipo de equipos en el proceso de deshidratación de sólidos. Tomando en cuenta esta información, el secado de sólidos en el secador de lecho fluidizado se dará por inducción de aire caliente mediante resistencias eléctricas lo que aumentará la eficiencia del proceso, disminuyendo el tiempo de operación del equipo.

Debido a que el objetivo de la construcción de un secador de lecho fluidizado es realizar prácticas a escala en laboratorio, se diseñará y construirá un secador de tipo batch que permitirá operarlo de forma discontinua.

RESULTADOS

Para analizar la eficiencia del equipo, se comparó contra una mufla, que es el equipo de secado más utilizado a nivel de laboratorio.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 1. Comparación de eficiencias de secado Mufla vs Secador de Lecho Fluidizado

| Prueba No. | Tiempo (min) | UTILIZANDO MUFLA | | | UTILIZANDO SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO | | |
|------------|--------------|--------------------|---------------------|----------------------|--|---------------------|----------------------|
| | | Humedad retirada % | Humedad remanente % | Eficiencia de secado | Humedad retirada % | Humedad remanente % | Eficiencia de secado |
| 1 | 10 | 0,77 | 99,23 | 0.77% | 3,90 | 96,10 | 3.9% |
| 2 | 20 | 1,97 | 98,03 | 1.97% | 11,41 | 88,59 | 11.41% |
| 3 | 30 | 3,82 | 96,18 | 3.82% | 23,32 | 76,68 | 23.32% |
| 4 | 40 | 9,70 | 90,30 | 9.7% | 41,16 | 58,84 | 41.16% |
| 5 | 50 | 20,82 | 79,18 | 20.82% | 62,25 | 37,75 | 62.25% |
| 6 | 60 | 36,12 | 63,88 | 36.12% | 92,45 | 7,55 | 92.45% |

Para la prueba experimental, que se realizó utilizando inicialmente una mufla y luego el secador de lecho fluidizado, se utilizó aproximadamente 100gr de muestra húmeda, el peso del grano seco constituye +/- el 50% de ese valor.

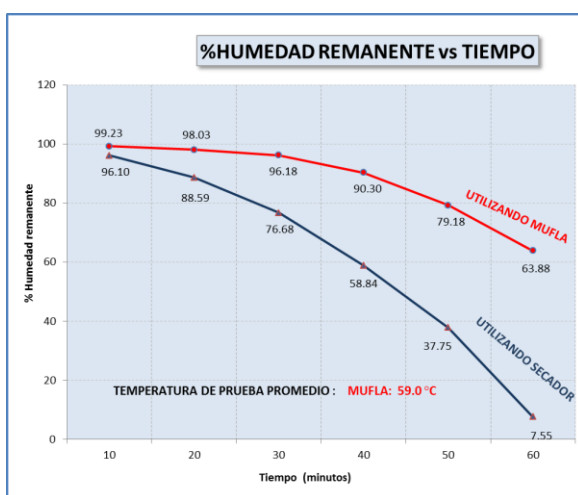
Claramente se puede observar, que la eficiencia de secado es directamente proporcional al tiempo de residencia del sólido húmedo tanto en la mufla como en el secador de lecho fluidizado.

Se calculó la humedad retirada de cada muestreo en función del tiempo, utilizando la mufla los

valores obtenidos nos indican que sin circulación de aire durante los primeros 30 minutos se logra retirar menos del 4% de humedad. A partir de ese momento el porcentaje retirado se incrementa llegando a los 60 minutos a retirar sobre el 36% de humedad.

Con el lecho fluidizado a los 30 minutos se logra separar el 23% de humedad, igualmente a partir de ese momento sube el la eficiencia, llegando a superar el 92% a los 60 minutos.

Gráfica 1. Comparación eficiencia de secado Mufla vs SLF.



Durante los primeros 10 minutos existe un equilibrio en la humedad tanto en grano húmedo y grano seco.

En la gráfica se puede observarse que las pendientes de las curvas de secado se incrementan a partir de los 30 minutos.

A los 60 minutos de operación el secador de lecho fluidizado es más eficiente que la mufla al momento de retirar humedad.

CONCLUSIONES:

- Los resultados obtenidos nos demuestran que el equipo construido está diseñado adecuadamente, debido a que el aire suministrado por el blower, al hacerlo pasar por la cámara de niquelinas y a través de la

cámara de secado a una temperatura promedio de 60°C, garantiza una reducción significativa de humedad en el grano de maíz.

- Se entendió, que los conocimientos adquiridos en las aulas de clase, se consolidan de mejor manera a través de la aplicación práctica de la teoría, lo cual permite generar un mejor desenvolvimiento de los estudiantes en la vida profesional.
- Se demostró que el secador de lecho fluidizado, tiene la capacidad de secar la muestra de maíz con una eficiencia promedio del 82.5 %, concluyendo de esta manera que dicho equipo supera en eficiencia a los métodos tradicionales de secado empleados en los laboratorios de la Universidad Internacional SEK.
- Se entendió que el secado de lecho fluidizado, es viable para partículas con no superen los 10 mm de diámetro, pues caso contrario, la potencia requerida por el ventilador para fluidizar el lecho será demasiado alta, disminuyendo la relación costo beneficio del secado.
- Se aprendió que es necesario adicionar un distribuidor de aire a la entrada de la cámara de secado, con el objetivo de lograr una fluidización homogénea de todo el grano, aumentando así la eficiencia de secado del equipo.
- Se entendió que uno de los métodos más utilizados para determinar la humedad de un sólido, es el método por diferencia de pesos, pues permite obtener proporciones porcentuales en base al peso del agua que se retira de la partícula. Este dato permite estimar la eficiencia del equipo.
- Se demostró que es más conveniente colocar la cámara de niquelinas a la salida del ventilador, ya que éste no tiene la capacidad de resistir altas temperaturas en su interior, lo cual incrementa el tiempo de residencia del lecho fluidizado en la cámara de secado.
- Se comprobó que el mejor equipo para suministrar el aire requerido para el proceso

de secado por lecho fluidizado, es el ventilador centrífugo, pues genera la cantidad óptima de aire requerido. Además su bajo costo comparado con otros tipos, lo convierte en el equipo más idóneo para este proyecto.

RECOMENDACIONES:

- Al momento de diseñar y construir un equipo con requerimientos específicos, tales como conexiones de mayor voltaje, validar la disponibilidad de estos requerimientos para evitar así inconvenientes y reprocesos que pueden resultar en sobrecostos.
- Para construir un equipo con fines didácticos, no es necesario buscar componentes hechos a la medida del dimensionamiento, pues resulta muy costoso, es mucho más conveniente adaptar la disponibilidad de piezas y componentes que ofrece el mercado, al dimensionamiento teórico realizado.
- Si se desea disminuir el tiempo de secado, aumentando la temperatura del aire que ingresa a la cámara de secado, es necesario modificar el tipo de material usado en dicha cámara, pues el acrílico es muy útil con fines didácticos pero no tolera temperaturas que sobrepasen los 70 °C.
- Se recomienda el uso de equipos especializados para la medición de humedad, con el objetivo de obtener datos más exactos del sólido a ser secado tanto antes como después del proceso, lo que permitirá evidenciar la eficiencia del proceso de secado por este o cualquier método empleado.
- Es recomendable instalar sistemas de aislamiento a base de fibra de vidrio en equipo generadores de calor, pues caso contrario, las paredes del equipo alcanzarían elevadas temperaturas que pondrían en riesgo a los estudiantes.
- Para futuros proyectos, es viable aplicar sistemas de control automático con el objetivo de aumentar la funcionalidad del

equipo, garantizando de esta forma la calidad del producto seco.

- Se recomienda validar la operación del equipo con otros granos diferentes al maíz, para obtener la eficiencia del equipo para diferentes tipos de productos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acedo Sánchez, J. (2003). *CONTROL AVANZADO DE PROCESOS*. Madrid, España: Diaz de Santos S.A.
- ACRILUX. (2014). *Recomendaciones de Uso*. Quito.
- Aguirre, R. (1992). *Manual para el Beneficio de Semillas*. Cali: CIAT.
- Bravo, A. (2005). Experiencias Locales del Cultivo Tradicional de Maíz. *Grupo SEMILLAS*, 22-23.
- DACSA. (2011). *El grano del maíz*. Recuperado el 08 de 31 de 2014, de www.maiz.dacsa.com
- Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (1999). *PRINCIPIOS ELEMENTALES DE LOS PROCESOS QUÍMICOS* (Segunda ed.). Nueva York, USA: Adisson Wesley.
- FLUIDIZACIÓN, C. 5. (2012). *CRIBA*. Recuperado el 2014, de CINÉTICA DE SÓLIDOS: www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/capitulo5
- González Sánchez, J. S., & Paucar Torosina, E. R. (2009). Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Químico. *Diseño y construcción de un secador por fluidización para la deshidratación de trigo (Triticum*

- vulgare). Riobamba, Ecuador:
Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo.
- González, A. (2008). Secado de granos de
elote crudo utilizando un lecho
fluidizado al vacío empleando aire. .
Puebla, México: Universidad de las
Américas.
- Jaramillo Calle, M. A., & Narváez Quiranza ,
E. R. (2012). *DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR DE
GRANO POR FLUIDIZACIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE
FLUJO Y TEMPERATURA*. Quito,
Pichincha, Ecuador.
- Jaramillo, A., & Narváez, E. (2012). Proyecto
previo a la obtención del título de
Ingeniero en Electrónica y Control.
*Diseño y construcción de un secador
de grano por fluidización e
implementación del control de flujo y
temperatura*. Quito, Ecuador:
Escuela Politécnica Nacional.
- Jiménez Gutiérrez, A. (2003). *DISEÑO DE
PROCESOS EN INGENIERIA QUIMICA*.
Celaya, Guanajuato, México:
Reverté, S.A.
- Luque Rodríguez, S., & Vega Granda, A.
(2005). *Simulación y optimización
avanzadas en la industria química y
de procesos: HYSYS* (Tercera ed.).
Oviedo, España.
- Martinez, E. M. (1988). *Manual para la
identificación de hongos en granos y
sus derivados*. México D.F.:
Universidad Nacional Autónoma de
México.
- McCabe, W. L. (1996). *Operaciones Unitarias
en Ingeniería Química*. Madrid,
España: Mc Graw Hill.
- McCabe, W. L., & Smith, J. C. (2002).
*OPERACIONES UNITARIAS EN
INGENIERÍA QUÍMICA*. MÉXICO:
McGRAW - HILL.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*
(Sexta Edición ed.). México: Pearson
Educación.
- Mott, R. L. (2006). *MECÁNICA DE FLUÍDOS
APLICADA* (4ta edición ed.). México:
Prentice-Hall .
- Nonhebel, G., & Moss, A. .. (2002). *El Sacado
de Sólidos en la Industria Química*.
Barcelona, España: Reveré S.A.
- Ocon, J., & Tojo, G. (1986). *OPEREACIONES DE
INGENIERÍA QUÍMICA OPERACIONES
BÁSICAS*. MADRID: EDITORIAL
AGUILAR.
- Ospina Machado, J. E. (2002). *Caracteríticas
físico mecánicas y análisis de calidad
de granos*. Bogotá: Universidad
Nacional de Colombia.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O.
(2001). *MANUAL DEL INGENIERO
QUÍMICO*. MÉXICO: McGRAW - HILL.
- Secretaría de ambiente. (15 de 08 de 2014).
Informe anual de la calidad del aire.
Quito, Pichincha, Ecuador.
- Vian, Á., & Ocón, J. (1976). *Elementos de
Ingeniería Química (Operaciones
básicas)*. Madrid: Aguilar.