

## ESTUDIO Y DESARROLLO DE EQUIPOS DE SECADO A TRAVÉS DE LECHO FIJO Y FLUIDO

**Autor:** Jonatan Cecotti

**Filiación Institucional:** Universidad Nacional del Litoral - Facultad de Ingeniería Química - Departamento de Ingeniería Química.

**Director:** Hugo Flores

**Área:** Ingeniería

### INTRODUCCIÓN

El estudio de la operación unitaria secado es muy importante en la enseñanza de grado de las Ingenierías, ya que tiene amplia aplicación en las industrias de proceso. Tiene un carácter fuertemente empírico, porque muchos de los cálculos empleados en diseño y simulación de los equipos utilizados se basan en resultados experimentales.

De ahí nace la importancia de contar en planta piloto con equipamiento adecuado para llevar a cabo experiencias didácticas con los estudiantes de grado de las carreras de Ingeniería.

Éste trabajo consistió en la revalorización de un dispositivo existente en la facultad, que se encontraba en desuso. Debido a las características del mismo, podrá utilizarse no sólo para el estudio del fenómeno de secado en lecho de partículas, tanto en lecho fijo como fluido, sino también para obtener información de las características fluido dinámicas del sistema y los fenómenos de transferencia de energía, desarrollando experiencias prácticas útiles para los estudiantes, y aplicarse también en proyectos de investigación y extensión al medio.

### OBJETIVOS

#### General:

- Revalorizar y poner en funcionamiento un equipo existente en la planta piloto para incorporarlo a trabajos de docencia, investigación y extensión.

#### Particulares:

- Acondicionar el equipo para su funcionamiento.
- Definir las variables que deben ser mensuradas para llevar a cabo la experiencia, y su rango de trabajo.
- Realizar el montaje del instrumental de medición de las variables operativas.
- Llevar a cabo experiencias en el equipo para relevar la información necesaria para un cambio de escala.
- Desarrollar trabajos prácticos para implementar en la enseñanza de grado de la asignatura.

### METODOLOGÍA

#### Marco teórico

El secado consiste en la remoción de humedad de materiales, utilizando una corriente gaseosa. La circulación de la misma puede ser paralela o perpendicular al lecho de secado. Dentro de esta última alternativa, se puede trabajar en lecho fijo o lecho fluido de sólido que circula transversalmente a través del lecho de sólidos. Se denomina fluidización al proceso de contacto que ocurre entre un sólido y un fluido (gas o líquido), en el cual el lecho formado por las partículas sólidas se expande y se agita por medio de la acción del paso de una corriente ascendente de fluido, de manera que el conjunto de partículas también tiende a

Título del proyecto: Estudio y desarrollo de equipos de secado a través de lecho fijo y fluido para la enseñanza de Transferencia de Materia y Operaciones

Año convocatoria: 2018

Organismo financiador: Universidad Nacional del Litoral - Facultad de Ingeniería Química

Director/a: Hugo Flores

comportarse como un fluido. Una buena mezcla de las partículas con el fluido, y un buen contacto con el mismo, son de gran beneficio para los fenómenos de transferencia de masa y calor.

Por otro lado, se conoce como lecho fijo al régimen en el cual las partículas del lecho se encuentran estáticas, normalmente sucede esto antes de que el fluido alcance la velocidad mínima para que las partículas comiencen a fluidizar.

En cualquiera de esas alternativas, es importante contar con información experimental para poder llevar a cabo un cambio de escala y diseñar o simular los equipos industriales; para ello se deben obtener datos relacionados a las condiciones del sólido, del gas, del equipo y coeficientes de transferencia de energía y de materia.

### **Equipo y técnicas utilizadas**

El dispositivo de secado consiste en una columna cilíndrica de vidrio Pyrex escala de planta piloto de 1,5 metros de altura y 10 centímetros de diámetro, la cual posee un distribuidor que funciona como soporte para las partículas, y permite una correcta distribución del fluido. El sólido se carga por la parte superior y se descarga por la parte inferior. Ésta columna posee también un orificio por el cual es posible tomar muestras del sólido. Un compresor es utilizado para impulsar el aire hacia el interior de la torre, conectado a un variador de frecuencia para realizar la regulación de la velocidad del fluido. Se suministra temperatura al gas a través del uso de una camisa calefactora, la cual consta de tres resistencias en paralelo controladas por un varivolt. Las mediciones de temperatura al ingreso y a la salida de la columna se realizan con termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo. Además, se toman registros de la caída de presión a través del lecho utilizando un manómetro de tubo en "U". En la parte superior de la torre, el equipo posee un ciclón de vidrio, el cual permite lograr una buena separación de sólidos finos que pudieran ser arrastrados por la corriente gaseosa. Mediante el uso de un anemómetro, se lleva a cabo la medición de la velocidad del fluido a la salida del ciclón.

### **Procedimiento**

Una vez terminado el reacondicionamiento del equipo disponible en la planta piloto, se realizaron una serie de experiencias para determinar las condiciones adecuadas para su utilización en las prácticas de docencia.

Las características y propiedades de las partículas son de suma importancia debido a que afectan el comportamiento del lecho. Por ello, se llevaron a cabo pruebas con semillas de mijo y de soja, para determinar cuáles de ellas son las más adecuadas para los fines didácticos.

En cada corrida, se debe realizar las mediciones de las temperaturas de ingreso y de salida del fluido, la velocidad del mismo y la caída de presión en el lecho en lapsos definidos de tiempo. Además, se toman muestras de las partículas para determinar el contenido inicial y final de humedad.

### **Procesamiento de datos**

Luego de haber medido los valores de las temperaturas de entrada y de salida del fluido durante las experiencias, es posible obtener datos de las humedades correspondientes y el volumen húmedo de la corriente gaseosa utilizando el diagrama psicrométrico. Esto nos permitirá calcular los valores del número de unidades de transferencia ( $N_{tg}$ ), la longitud de la unidad de transferencia ( $H_{tg}$ ) y el coeficiente de transferencia de masa en fase gaseosa ( $k_y$ ).

## RESULTADOS

Tabla 1: Experiencias lecho fijo

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6
Sólido utilizado	Mijo	Mijo	Mijo	Mijo	Mijo	Soja
Temperatura de ingreso de aire(°C)	90	60	60	90	60	60
Altura de lecho (cm)	10,5	10,5	6,5	6,5	15	17
Velocidad aire (m/s)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Masa carga inicial (gr s.s.)	656	656	352	365	760	702
$\Delta P$ promedio (cm agua)	3,8	4,6	2	3,3	6,2	2
Tiempo de secado (min)	40	65	45	40	75	65
Tiempo de estabilización (min)	10	15	15	10	10	10
Humedad inicial (%)	18	26,3	16,7	9,5	21,5	36,7
Humedad final (%)	8	12,8	6	3,6	17,7	21,1
Ntg	0,74	0,79	0,85	1,06	1,15	1,3
Htg (m)	0,15	0,14	0,077	0,062	0,16	0,13
Ky.a (kg agua/m <sup>2</sup> .s)	2,6	2,85	5,12	5,96	2,82	3,07

Tabla 2: Experiencias lecho fluido

	Exp 7	Exp 8	Exp 9	Exp10	Exp11	Exp12
Sólido utilizado	Mijo	Mijo	Mijo	Mijo	Mijo	Soja
Temperatura de ingreso de aire(°C)	90	60	60	90	60	60
Altura de lecho (cm)	10,5	10,5	6,5	7	15	10
Velocidad aire (m/s)	1,38	1,38	1,38	1,38	1,45	2,6
Masa carga inicial (gr s.s.)	575	550	342	365	960	474
$\Delta P$ promedio (cm agua)	7	7	3,5	3,5	9	6
Tiempo de secado (min)	35	50	24	24	42	41
Tiempo de estabilización (min)	10	10	5	6	10	9
Humedad inicial (%)	14,7	20	16,7	20,2	46,1	28,6
Humedad final (%)	3,9	12,7	5,7	6	21,4	12,7
Veloc. de mínima fluidización (m/s)	1,18	1,18	1,15	1,15	1,21	2.24

### Evaluación de resultados

Como es de esperarse, los resultados obtenidos dejan en evidencia que un incremento en la temperatura y en la velocidad de la corriente gaseosa, disminuyen el tiempo necesario para el secado de las partículas.

Si bien esta modificación en las variables de operación produce una mejora en los fenómenos de transferencia de masa, también podría significar una disminución en la eficiencia energética, dado que a mayores temperaturas, el sólido acarreará una considerable cantidad de calor sensible al descargarse.

## Guía de trabajos prácticos

Se desarrollaron varios modelos de experiencias de trabajos prácticos, cuyos objetivos se enumeran resumidamente a continuación:

### *Transferencia de cantidad de movimiento:*

Determinar experimentalmente la pérdida de carga en un lecho fijo y en un lecho fluidizado en función de la velocidad del fluido. Comparar los valores reales en un lecho fijo con los calculados por la ecuación de Ergun. Obtener el punto de inicio de la fluidización y observar el comportamiento del lecho en sus diferentes estados.

### *Transferencia de energía:*

Comprender los principios de transferencia de energía en equipos de lecho fijo y lecho fluido. Evaluar la influencia de las variables de operación en el coeficiente pelicular de transferencia de energía. Comparar la performance del equipo aislado y sin aislar.

### *Transferencia de materia*

Comprender la base del funcionamiento de un secador a través de un lecho fijo. Aplicar los fundamentos teóricos a la operación. Determinar la influencia de la temperatura del aire de secado sobre la transferencia de calor y de materia durante el proceso de secado. Relevar la información experimental necesaria para un diseño y cambio de escala a nivel industrial.

## CONCLUSIONES

Los valores experimentales obtenidos en la evaluación de las condiciones fluido dinámicas son repetitivos y coherentes con lo esperado del funcionamiento del equipo; lo mismo se observa para los ensayos de secado y evaluación de parámetros de dicha operación.

A través de las experiencias realizadas se ha podido evaluar el comportamiento del lecho en casos donde se hacen variar parámetros como la temperatura y velocidad del fluido, y la altura del lecho, trabajando con distintas alimentaciones.

Se deduce que ambos tipos de partículas son apropiadas para su utilización en las distintas experiencias propuestas.

Quedan pendientes las experiencias de determinación de parámetros de transferencia de energía. Sin embargo, de la evaluación de los coeficientes de transferencia de materia se pueden esperar resultados repetitivos en la obtención de los mismos.

Como resultado del trabajo, se logró poner en funcionamiento el equipo, y ha quedado a disposición para ser utilizado en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Química, para docencia, investigación y extensión.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Cook E. M.; DuMont H.,** “*Process Drying Practice*”. Ed. McGraw Hill, University of Michigan.  
**Geankoplis C. G.,** “*Transport Process and Unit Operations*”. Ed. Prentice Hall.  
**Mujumdar A.,** “*Handbook of Industrial Drying*”. Cuarta Edición, Ed. CRC Press.  
**Nonhebel G., Moss A.** “*Drying of solids in the chemical industry*”. Ed. Butterworths; London.  
**Perry, R.,** “*Manual del Ingeniero Químico*”. Séptima Edición, Ed. McGraw Hill.  
**Treybal, R.,** “*Operaciones con Transferencia de Masa*”. Segunda Edición, Ed. McGraw Hill, México.