

CAPÍTULO 9

REALIZACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE SECADO

En este capítulo se explicará la metodología de trabajo para las pruebas experimentales de secado correspondientes a este trabajo de investigación.

9.1 Pruebas de Secado

Después de realizar los experimentos fluidinámicos correspondientes, se realizaron las pruebas correspondientes al secado. En dichas pruebas no es necesario realizar tantos cálculos o iteraciones como en las pruebas fluidinámicas.

Para realizar las pruebas de secado debemos de fijar las condiciones de operación en la columna y procurar que estas se conserven a lo largo del experimento. Estas condiciones que se deben vigilar son la temperatura, la cual se fija con el nuevo control de temperatura y el cual es muy eficiente en temperaturas cercanas a los 100 °C o más, y la presión de vacío, la cual es controlada a través de las mangueras que conectan a la columna con la bomba de vacío.

Existen limitantes en el equipo que impiden manejar velocidades superiores de fluidización ya que el vapor de calderas no llega con suficiente presión. Un vacío de 40 kPa es muy difícil de alcanzar y más difícil de mantener.

En el proceso de secado de partículas, un factor a considerar es la altura del lecho, ya que a mayor masa o altura del lecho estático, la velocidad de secado será menor. Para este trabajo de investigación trabajando con arroz con cáscara se realizaron las pruebas de secado con un lecho estático de entre 6 y 8 cm.

Para estas pruebas de secado es necesario tomar muestras de partículas de la columna a determinados tiempos para realizarles pruebas de humedad y de esta manera trazar las curvas de secado. Para poder sacar las muestras sin ninguna interferencia, y se obtengan curvas correctas, debe tenerse mucho cuidado con el sistema de toma de muestras. Se debe de limpiar la tubería con un alambre para remover todas las partículas restantes de otras extracciones y a su vez se tiene que limpiar con un papel, para remover la humedad existente, ya que es suficiente que le caiga una gota de agua a la muestra para que nos arroje resultados incorrectos. El tubo donde se toman las muestras también tiene que ser limpiado con una escobilla y con papel para remover la humedad. Otra razón para trabajar con un lecho estático de esta altura es, que se facilita la extracción de muestras.

9.2 Condiciones iniciales de los experimentos de secado

Para este trabajo de operación se decidió trabajar con condiciones de temperatura y presión más bajas que el equipo pueda mantener de manera constante y sin problemas, pues esta es una de las finalidades de trabajar con vapor sobrecalentado, pues mientras más baja sea la presión de operación, menor será la temperatura de saturación, y con esto se lograría una mejor calidad del producto, mejor funcionamiento del equipo y reducción

de costos. Se ha decidido trabajar inicialmente con dos velocidades de fluidización a tres temperaturas y tres presiones diferentes.

Existe un problema, pues como había mencionado, a una presión de 67kPa es muy difícil alcanzar velocidades similares a la de los experimentos a presiones de 53 y 40kPa. El control de temperatura trabaja mejor y mantiene la temperatura más uniforme a partir de los 100 °C por lo que se decidió trabajar por encima de esta temperatura. Las condiciones de trabajo fueron:

Tabla 9.1 Condiciones para los experimentos de secado.

Temperatura [°C]	Presión [kPa]
100	67
100	67
100	67
105	53
105	53
105	53
110	40
110	40
110	40

9.3 Parámetros a identificar en el equipo

Para establecer las condiciones iniciales de las pruebas de secado es necesario tomar la lectura de las alturas del manómetro en U de mercurio, así como la presión

correspondiente a la placa de orificio, y la temperatura del control de temperatura. Con estos datos al introducirlos en la primera tabla de datos de secado, nos puede dar la velocidad del vapor, y así se puede abrir y cerrar la válvula hasta obtener las lecturas adecuadas que nos den como resultado la velocidad del vapor correspondiente. Durante la toma de muestras se tiene que verificar que la presión en la columna sea el adecuado y se toman las lecturas de las temperaturas antes del lecho y en el lecho en cada extracción.

9.4 Registro de datos de los experimentos de secado

Para poder empezar con los experimentos se tiene que llenar una tabla con la información inicial necesaria y con información que identifique a la prueba por su fecha de entrada y salida del horno. Es por medio de los datos de esta tabla, que las tablas de Excel realiza las iteraciones necesarias para encontrar la velocidad del vapor.

A continuación se presenta la estructura de dicha tabla.

Tabla 9.2 Tabla de ingreso de datos de condiciones iniciales del equipo para el experimento de secado.

Condiciones iniciales del experimento	
Fecha del experimento	
Temperatura del lecho [°C]	107.27
Presión en la columna [Pa]	53000
Temperatura antes de la placa [°C]	104.62
Presión antes de la placa [kg/cm ²]	0
Presión antes de la placa [cm Hg]	7
h1 del manómetro de Hg [cm]	70.4
h2 del manómetro de Hg [cm]	66.6
Fecha y hora de ingreso de arroz al horno	8/10 3:13pm
Fecha y hora de salida de arroz al horno	9/10 3:20pm

Esta tabla se encuentra en la pestaña de llenado de la hoja de cálculo de Excel que se programó, cuyas guías de uso se encuentran en el apéndice G.

Las tomas que se van tomando de las partículas a lo largo de las pruebas de secado deben de transportarse en todo momento en el desecador, manejarse con pinzas para introducirlas a la báscula de precisión y al horno. Las muestras se remojaron en razón de 2 litros por cada 100 gramos por dos horas y media para humedecerlas antes de la prueba de secado y se dejan en el horno por 24 horas después de la prueba de secado. A continuación se muestra la tabla donde se ingresan los datos correspondientes a las tomas de muestras.

Tabla 9.3 Datos necesarios para determinar las curvas de secado y velocidad de secado.

Muestra	Tiempo [min]	T_{entrada} [°C]	T_{echo} [°C]	W_{ch} [g]	$W_{\text{ch+p}_h}$ [g]	$W_{\text{ch+ps}}$ [g]	m agua [g]	sólido seco [g]	C [kg agua/ kg sólido seco]	C/ C _o	dC/ dt
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											

Donde:

W_{ch} es el peso de la charola, en gramos

$W_{\text{ch+ph}}$ es el peso de la charola con la partícula húmeda, en gramos

$W_{\text{ch+ps}}$ es el peso de la charola con la partícula seca, en gramos

La masa de agua se obtiene con la siguiente fórmula:

$$m_{agua} = W_{ch+ph} - W_{ch+ps} \quad (9.1)$$

La masa del sólido seco se obtiene con la siguiente fórmula:

$$sólido\ seco = W_{ch+ps} - W_{ch} \quad (9.2)$$

Las curvas de secado se realizan graficando la humedad base seca(C) y la humedad base seca normalizada (C/C_o), contra el tiempo; la letra *o* significa que es humedad inicial, es decir este valor permanece constante para cada muestra. Las curvas de velocidad de secado se grafican con la variación de la humedad con el tiempo (dC/dt) contra el promedio de las humedades de base seca correspondientes (C₁ y C₂).

Una vez que se insertaron los datos en esta tabla que se encuentran en la pestaña de cálculos, se pueden trazar las curvas de secado, graficando humedad relativa y absoluta con respecto al tiempo y velocidad de secado.

En la hoja de cálculo de Excel se encuentra también otra pestaña que se refiere a las iteraciones realizadas para ir calculando la velocidad del vapor.