

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE SECADO INDIRECTO

1. INTRODUCCIÓN

Las operaciones de secado son unas de las más importantes a nivel industrial, en especial cuando se trata de retirar agua de materiales fibrosos que contienen sustancias solubles en agua, razón por la cual no pueden ser sometidos a simples operaciones de filtración. En el caso de las operaciones de secado indirecto, su importancia radica en que son empleados para retirar la humedad de sustancias o materiales sensibles a las altas temperaturas ya que en este tipo de secado es factible la operación al vacío lo que reduce las temperaturas a las que debe estar sometido el material; además son apropiados para retirar la humedad que puede ser tóxica o combustible debido a la hermeticidad de los equipos.

Como ejemplo de materiales que se secan por este método se tienen las frutas y algunos productos farmacéuticos.

2. OBJETIVOS

2.1 *Objetivo general*

- Observar y analizar como se efectúa el proceso de secado de un material sólido en un equipo de secado indirecto con el propósito de complementar los conceptos teóricos que abarca esta operación tales como los fenómenos de transferencia de masa y calor.

2.2 *Objetivos específicos*

- Conocer las bases teóricas del secado indirecto y su aplicación en el secado de diferentes
- Determinar la curva de secado característica de un granulado uniforme a una presión de vacío y temperatura fijas.
- Cuantificar las pérdidas de calor del secador de anaqueles utilizado.

3 MARCO TEÓRICO

3.1. SECADO INDIRECTO

En este tipo de secadores el calor de desecación se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de desecación depende del contacto que se establezca entre el material mojado y las superficies calientes. Los secadores indirectos se llaman también secadores por conducción o de contacto.

Los secadores indirectos pueden ser continuos o por lotes. En el secado continuo la desecación se efectúa haciendo pasar el material de manera continua por el secador y poniéndolo en contacto con las superficies calientes. Los secadores indirectos por lotes se adaptan muy bien a operaciones al vacío y se subdividen en tipos agitados y no agitados.

Los secadores de bandejas al vacío son secadores de platos cuyos gabinetes, hechos de fierro colado o de acero, se ajustan con puertas que cierran perfectamente, de forma que pueden operarse a presiones inferiores a la atmosférica. No se pasa ni se recircula a través de estos secadores y no interviene la agitación. Los platos que contienen el sólido por secar, descansan sobre anaqueles huecos a través de los cuales pasa agua tibia o vapor, a fin de proporcionar el calor necesario para la evaporación de la humedad. El calor se conduce hasta el sólido a través del metal de los anaqueles y platos. Después de cargar y sellar, el aire en el secador se evacua mediante una bomba de vacío mecánica o un eyector de vapor; luego se continua el retiro de la humedad. Los vapores generalmente pasan hasta un condensador, en donde se licúan y se recolectan; sólo el gas no condensable se saca de la bomba.

Los secadores de esta categoría son caros de construir y de operar. En consecuencia, se utilizan sólo en materiales valiosos que deben secarse a bajas temperaturas o en ausencia de aire para evitar la descomposición, como ciertos productos farmacéuticos, o en donde la humedad por eliminar es un disolvente orgánico caro o venenoso que debe recuperarse más o menos completamente.

Los secadores indirectos difieren de los directos en la transmisión de calor y la separación del vapor:

- El calor se transfiere al material húmedo por conducción a través de una pared de retención de sólidos, casi siempre de índole metálica.
- Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación en el caso de secadores de congelación hasta mayores de 800K en el caso de secadores indirectos calentados por medio de productos de combustión.
- Los secadores indirectos son apropiados para desecar a presiones reducidas y en atmósferas inertes, para poder recuperar los disolventes y evitar la formación de mezclas explosivas o la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad.
- Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento son en general económicos, desde el punto de vista del consumo de calor, ya que suministran calor sólo de acuerdo con la demanda hecha por el material que se está desecando.
- La recuperación de polvos y materiales finamente pulverizados se maneja de un modo más satisfactorio en los secadores indirectos que en los directos.

3.2. PRUEBAS DE SECADO

Con respecto a la muestra de una sustancia, la rapidez de secado puede determinarse suspendiendo la muestra en un gabinete o tubería, en una corriente de aire, para un balance. Entonces, el peso de la muestra secada puede medirse como una función del tiempo. Deben observarse ciertas precauciones para que los datos sean de máxima utilidad. La muestra no debe ser muy pequeña. Más aún, las siguientes condiciones deben parecerse lo más posible a las condiciones que, según se prevé, predominaran en la operación a gran escala: (1) la muestra debe soportarse en forma similar sobre un plato o estructura; (2) debe tener la misma relación de superficie que se seca a la que no se seca; (3) debe sujetarse a condiciones similares de transferencia de calor por radiación; (4) el aire debe tener la misma temperatura, humedad y velocidad (con la misma velocidad y dirección con respecto a la muestra). Si es posible, se deben realizar varias pruebas sobre muestras de diferente espesor. También deben obtenerse el peso seco de la muestra.

La exposición de la muestra a aire de temperatura, humedad y velocidad constante constituye el secado en condiciones constantes de secado.

3.2.1 Curva de rapidez de secado

A partir de los datos obtenidos durante una de estas pruebas, se puede graficar una curva de contenido de humedad como función del tiempo. Esta será directamente útil para determinar el tiempo necesario para secar grandes lotes en las mismas condiciones de secado. Se puede obtener mucha información si los datos se convierten a rapidezces (o fluxes) de secado, expresadas como N masa / tiempo área y se grafican contra contenido de humedad. Esto puede hacerse midiendo las pendientes de las tangentes trazadas sobre la curva de secado, o determinando sobre la curva pequeños cambios en el contenido de humedad ΔX para los cambios pequeños correspondientes en

el tiempo $\Delta \Phi$ y calculando la rapidez como: $N = -S_s \frac{\Delta X}{A * \Delta \theta}$, aquí, S_s es la masa del sólido seco;

A es la superficie húmeda sobre la cual sopla el gas y a través de la cual tiene lugar la evaporación en el caso del secado de aire por recirculación cruzada. En el caso del secado por circulación transversal, A es la sección transversal del lecho medida a ángulos rectos a la dirección del flujo del gas.

Algunas veces, la curva de rapidez de secado se grafica con la ordenada expresada como masa de humedad evaporada / (tiempo)(masa sólido seco), que en la notación presente es $-dX / d\Phi$.

Generalmente hay dos partes principales en la curva de rapidez, un periodo de rapidez constante y uno de rapidez decreciente. Aunque a menudo sólidos diferentes y condiciones distintas de secado dan lugar a curvas de formas diferentes en el periodo decreciente de la rapidez, generalmente estas muestran formas estándar. [Treybal. p.738]

Este fenómeno puede explicarse en cierta medida si se considera un sólido que inicialmente está muy húmedo, la superficie estará cubierta con una delgada película de líquido, que se supondrá como humedad no ligada. Cuando se expone a aire relativamente seco, la evaporación tendrá lugar desde la superficie. La rapidez a la cual se evapora la humedad puede describirse en función de k_y , un coeficiente de transferencia de masa del gas y de la diferencia media entre el gas en la superficie líquida Y_s y en la corriente principal Y. Entonces, para el secado por circulación tangencial:

$$N_c = k_y(Y_s - Y)$$

Se puede prever que el coeficiente k_y permanecerá constante siempre y cuando no cambie la velocidad y la dirección del flujo de gas sobre la superficie. La humedad Y_s es la humedad a saturación en la temperatura superficial del líquido t_s ; por lo tanto, dependerá de esta temperatura. Puesto que la evaporación de humedad absorbe calor latente, la superficie líquida llega y permanece en una temperatura en el equilibrio tal que la rapidez de calor en el entorno de la superficie es exactamente igual a la rapidez de absorción de calor. Por lo tanto, Y_s permanece constante. Los capilares e intersticios del sólido, llenos de líquido, pueden llevar líquido hasta la superficie tan rápidamente como el líquido se evapora en ésta.

Puesto que además Y permanece constante en las condiciones constantes de secado, la rapidez de evaporación debe permanecer constante en el valor N_c .

Se debe tener en cuenta el periodo inicial de secado, puesto que inicialmente la superficie del sólido y el líquido se encuentra a una temperatura superficial menor o mayor que la temperatura superficial t_s final, lo cual puede generar un aumento o disminución de la velocidad de secado. Generalmente el periodo inicial es tan corto que de ordinario se ignora en el análisis subsecuente de los tiempos de secado.

Cuando el contenido de humedad promedio del sólido alcanza un valor X_c , el contenido crítico de humedad, la película superficial de humedad se reduce tanto por evaporación que el secado posterior produce puntos secos que aparecen sobre la superficie; éstos ocupan cada vez porciones más grandes de la superficie expuesta al continuar el secado. Sin embargo, puesto que la rapidez N se calcula mediante la superficie gruesa constante A, el valor de N debe descender aun cuando la

rapidez por unidad de superficie húmeda permanezca constante. Esto da lugar a la primera parte del periodo decreciente de la rapidez, el periodo de secado superficial no saturado. Finalmente, la película superficial original de líquido se habrá evaporado completamente a un contenido de humedad promedio del sólido. Esta parte de la curva puede faltar completamente, o puede constituir el total periodo decreciente de la rapidez. En el caso de algunos textiles, se han necesitado otras explicaciones para el periodo lineal de secado.

Al continuar el secado, la rapidez con la cual se puede mover la humedad a través del sólido es el paso controlante, a causa de los gradientes de concentración que existen entre las partes más profundas y la superficie. Como la concentración de humedad generalmente decrece mediante el secado, la rapidez de movimiento interno de la humedad decrece. En algunos casos, la evaporación puede tener lugar debajo de la superficie del sólido en un plano o zona que se va hundiendo más profundamente en el sólido al irse secando. En cualquier caso, la rapidez de secado decae aún más rápidamente que antes. Al determinarse el final del proceso de secado, la rapidez de secado es nula y la concentración de humedad en el sólido corresponde al valor de equilibrio X^* con la humedad del aire circundante.

4. MATERIALES Y EQUIPO

4.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El sistema disponible esta compuesto por el secador, una trampa de vapor, un condensador, una bomba de vacío e instrumentos de medida necesarios.

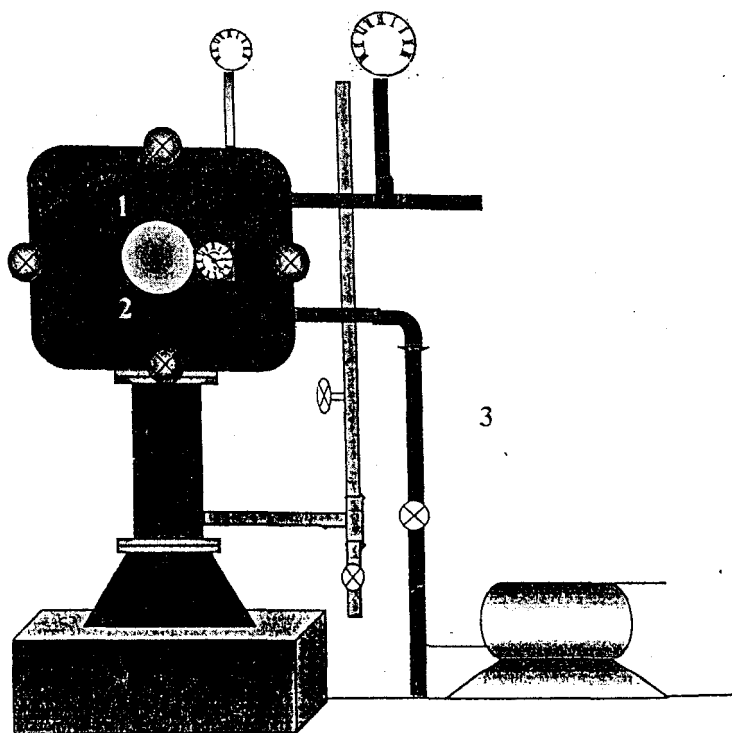


Fig. 1. Sistema de Secado Indirecto

Las partes fundamentales son:

4.1.1. Secador:

Tipo indirecto de operación al vacío; el calor necesario para el secado se transmite al material húmedo (situado en una bandeja metálica) por conducción a través de una pared maciza, siendo vapor que se condensa la fuente de calor.

El secador consta de una cámara metálica y una puerta para atornillar a cada lado; la cámara posee un agujero en la cara inferior conectado al condensador y mirillas de vidrio en la puerta y en la cara posterior. Dentro de la cámara de vacío y sujetos a ésta, están colocados dos anaqueles huecos, conectados en paralelo a colectores de entrada y salida; el medio de calefacción entra por uno de los colectores y pasa por dichos anaqueles hasta llegar al colector de salida. El condensado se remueve mediante una trampa para vapor de canasta invertida. Entre el anaquel y la cámara existen dos filtros, uno al frente y otro al fondo, que evitan el paso de material sólido al condensador y el reciclo de la humedad retirada.

Los materiales de construcción son:

- Cámara y puerta de hierro fundido.
- Empaque de caucho en el borde interior de la puerta.
- Anaqueles (camisa de vapor) de fundición gris.
- Filtros de lana de vidrio recubierta con lona.
- Dos bandejas de metal con fondo macizo.

La operación se hará por cochadas. La presión máxima en la camisa es de 25 psi y la Bandeja es de 35 m de largo y ancho.

4.1.2. Condensador:

Equipo en el cual se condensan y enfrían los vapores de humedad retirada al sólido. Es un intercambiador vertical de coraza y tubo; por el interior de los tubos fluyen los vapores y agua por fuera de ellos.

Los materiales de construcción son:

- Coraza de hierro fundido.
- Tubos de hierro galvanizado.

El condensador es de Tipo 1-1, flujo en contracorriente, con siete tubos, uno central y seis concéntricos.

4.1.3. Bomba de Vacío:

Es aquella que produce el efecto de poder trabajar el secador a presiones inferiores a la atmosférica. Consta de dos cilindros, funcionamiento con émbolo y volantes balanceados montados sobre ejes paralelos, los cuales a su vez van unidos al eje principal que posee una polea. Dicha polea está acoplada por medio de una correa a la polea de un motor trifásico de 1.0 H.P., 220 Voltios, 2.3 Amperios, 1740 RPM y 60 ciclos. El motor y la bomba están atornillados y montados sobre dos rieles empotrados a una base de concreto. Las poleas y la correa están protegidas por una guarda de seguridad.

Los materiales de construcción son:

- ❖ Carcaza, cilindros y émbolos de hierro fundido.
- ❖ Vástagos de émbolos de acero al carbón.
- ❖ Anillos de émbolo de acero al carbón.
- ❖ Volantes de bronce.
- ❖ Empaques de los anillos de hierro fundido.

La bomba funciona en una etapa, el desplazamiento es de veinte pies cúbicos por minuto y 800 RPM. La presión última de 2.6 milibares.

4.1.4 Instrumentos de Medida

- Manómetro tipo Bourdon para medir la presión de vapor aplicada a la camisa. (0- 100psi)
- Vacuómetro, para medir el vacío realizado en el secador, con graduación de 0 a 30.
- Termómetro bimetálico para medir la temperatura interior del secador. (50-500°F).
- Recipiente de vidrio con tapón, para medir y recoger la humedad extraída al sólido.
- Un cronómetro y una balanza.

4.1.5 Tuberías, Accesorios y Válvulas

Las tuberías de agua, vacío (succión y descarga), vapor y su condensado son de hierro galvanizado; poseen universales, codos, copas y tes fabricados del mismo material, acoplados por rosca e instalados en puntos clave. Los conductos del condensador al frasco colector y de éste a la tubería de la bomba son mangueras de caucho.

Una válvula de globo de bronce, para controlar la presión de vapor aplicada a la camisa. Cuatro válvulas de compuerta de bronce, localizadas así: Una en la entrada de agua al condensador y otra en la salida; una antes de la trampa de vapor y otra para su purga. Válvulas de acero al carbón en la línea de vacío, así: dos de globo para regular el vacío en el secador de bandejas y en el secador de aleta; una compuerta llamada válvula de comprensión, con la cual el secador puede adquirir presión atmosférica y una de bola para purgar la tubería de succión de la bomba.

5. PROCEDIMIENTO

1. Verificar que la posición de las válvulas de control en el equipo estén en el punto de cierre.
2. Tomar una muestra representativa del musgo y llevarla a secado en una mufla.
3. Distribuir el musgo sobre la bandeja del secador.
4. Determinar la masa del material dispuesto sobre la bandeja.
5. Abrir la válvula de entrada a la trampa de vapor y proceder a purgarla.
6. Abrir completamente las válvulas de entrada y de salida de agua del condensador.
7. Encender la bomba de vacío y ajustar, por medio de la válvula respectiva, un vacío de psi en la cámara de secado. Este valor de la presión debe permanecer constante a lo largo de toda la práctica.
8. Dar paso al vapor vivo, regulando la válvula de entrada hasta alcanzar un valor de 3 psi. Este valor de presión de vapor vivo debe mantenerse constante durante toda la práctica.

9. Una vez el volumen en el recolector de humedad retirada se mantenga constante durante al menos 20 minutos se considera finalizada la operación de secado.
10. Medir tiempo vs. volumen de condensado que se recoge .
11. Cerrar la válvula de suministro de vapor vivo.
12. Cerrar la válvula de control de vacío y apagar de inmediato la bomba de vacío.
13. Abrir la válvula de compresión del equipo para equilibrar la presión interna de la cámara a la atmosférica.
14. Cerrar las válvulas de paso de agua a través del condensador.
15. Cerrar la válvula de entrada a la trampa de vapor.
16. Determinar la masa del sólido seco en una balanza.

10. BIBLIOGRAFIA

- McCABE & SMITH, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Cuarta edición, Editorial Mc Graw Hill, 1991.
- TREYBAL, Operaciones de Transferencia de Masa, Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, 1988.
- PERRY, Manual del Ingeniero Químico, Tomo V, Sexta edición, Editorial Mc Graw Hill, 1992.
- Manual de Operación del Equipo de Secado Indirecto. Laboratorio de Ingeniería Química.. Universidad Nacional de Colombia.