



Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Dpto. de Operaciones Unitarias y Proyectos

TEMA 2 SECADO

Prof. Yoana Castillo
yoanacastillo@ula.ve



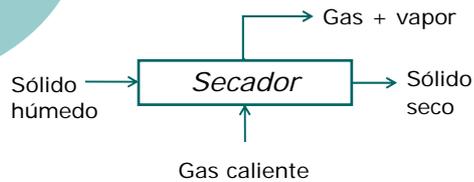
CONTENIDO

- Generalidades de Secado.
- Definición de términos.
- Pruebas de Secado.
- Velocidad de Secado en Régimen de Secado Constante.
- Curvas de Secado.
- Clasificación de Secadores.

GENERALIDADES DEL SECADO

Secado:

Operación que permite la eliminación de la humedad de una sustancia por medio térmico.[1]



Principio de Separación:
Evaporación del líquido (agua)

Agente de Separación:
Masa y/o Energía

Es necesario tener en cuenta los mecanismos:

- Transmisión de masa.
- Transmisión de calor.

GENERALIDADES DEL SECADO

¿Cuáles son las razones para el secado de sólidos?

- Facilitar la manipulación y transporte.
- Disminuir el peso.
- Disminuir el volumen.
- Incrementar el valor económico del producto.
- Conservación de alimentos y medicamentos.



El agua es ambiente propicio para la proliferación de hongos y bacterias.



DEFINICION DE TERMINOS EN SECADO [1-3]

• **Sólidos:**

Sólido seco: SS = sólido seco.

Sólido húmedo: SH = sólido seco+ agua.

• **Humedad:**

Relaciona cantidad de líquido presente en el sólido.

Puede definirse de 2 formas:

1. **Humedad en base húmeda (BH):** x'

$$x' [=] \frac{Kg H_2O}{Kg SH}$$

2. **Humedad en base seca (BS):** X Mas usada porque el SS es constante

$$X [=] \frac{Kg H_2O}{Kg SS}$$

Relación entre BS y BH:

$$X = \frac{x'}{1 - x'}$$

DEFINICION DE TERMINOS EN SECADO

• **Humedad de Equilibrio: X^***

Si un sólido se expone a una corriente gaseosa con una presión parcial de vapor (P_g), el sólido perderá o ganará humedad hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido (P_v) iguale a la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa, entonces se dice que el sólido y el gas se encuentran en EQUILIBRIO.

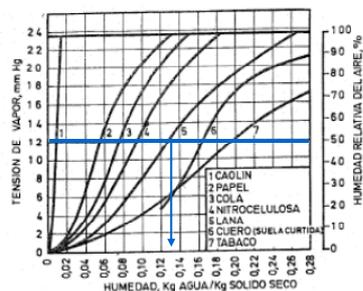
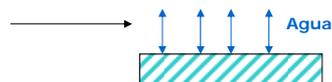


Fig 1: Curvas de equilibrio para diferentes sustancias [2]

Gas: T, Y, P_g



SH: $T, P_v=f(\text{Sólido, tipo de humedad, } T)$

En el equilibrio $P_g=P_v$, el sólido alcanza X^* con el aire (Y y T determinadas)

DEFINICION DE TERMINOS EN SECADO

- **Humedad Ligada u Ocluida:**

Se refiere al agua retenida en las paredes celulares o poros del sólido, corresponde a la humedad absorbida físicamente.



El sólido que contiene humedad ligada se llama **Cuerpo Higroscópico**

- **Humedad no Ligada:**

Se refiere al agua en exceso que contiene el sólido.



El sólido que contiene humedad no ligada se llama **Cuerpo Húmedo**

- **Humedad Libre X_L ó F :**

Es la humedad que tiene una sustancia y que se halla en exceso sobre la humedad de equilibrio.

Sólo la humedad libre se puede evaporar.

Es función de las condiciones del secado.

$$X_L = F - X^*$$

PRUEBAS DE SECADO [2-3]

Establecer programas de secado basado en Pruebas de Secado



Seleccionar tipo de secador

Determinar el tamaño del secador

Calcular el tiempo de secado para secar una sustancia desde una X_1 a X_2 bajo condiciones especificadas

Mediciones experimentales a escala laboratorio en régimen Discontinuo (batch)

Interpretación de resultados

Escalamiento e instalación de Plantas pilotos

Implementación a escala industrial ya sea en régimen discontinuo o continuo.



PRUEBAS DE SECADO

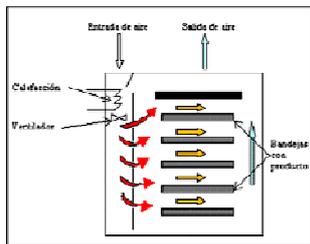
Se llevan a cabo en Secadores de Bandejas o Túneles de Secado.

Se coloca la muestra a secar en una bandeja.

Se registra la pérdida de peso de humedad durante el secado a diferentes intervalos de tiempo.

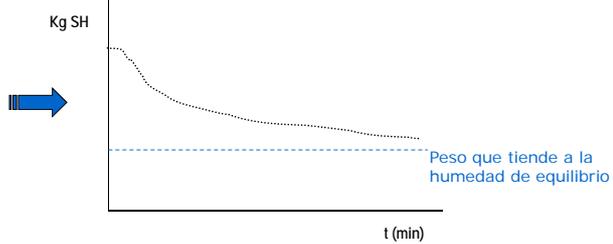


t (min)	Kg SH
0	10
1	9.6
2	9.1
...	...
...	...
∞	SS



PRUEBAS DE SECADO

t (min)	Kg SH
0	10
1	9.6
2	9.1
...	...
...	...
∞	SS



Para el tiempo infinito el peso corresponde al valor de sólido seco.

Esto nos permite calcular la humedad en cada punto, tal como sigue:

$$X_{t=t_1} = \frac{SH_{t=t_1} - SS}{SS}$$

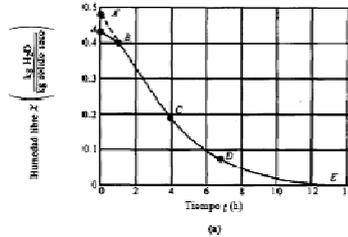
Calculando para todos los puntos se obtiene:

t (min)	Kg SH	X Kg H ₂ O/KgSS
0	10	X1
1	9.6	X2
2	9.1	X3
...	...	X4
...	...	X5
∞	SS	Xf=0



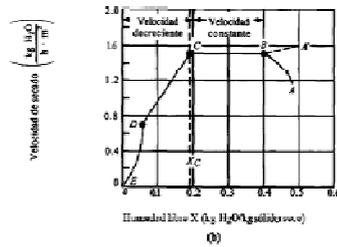
Con esta data se construye las Curvas de Secado

CURVAS DE SECADO CONDICIONES DE SECADO CONSTANTES [1,2]



- AA'**: Periodo de inducción.
- BC**: Pendiente de pérdida de humedad constante. Se retira la humedad no ligada.
- CDE**: Pendiente variable. Se retira la humedad ligada.

$$pendiente = \frac{dX}{d\theta}$$



Velocidad de Secado: W

Se definirá como:

$$W = \frac{SS}{A} * \left(-\frac{dX}{d\theta} \right)$$

A es el área de la superficie expuesta al secado.

CLASIFICACIÓN DE SECADORES [1-4]

Se pueden clasificar según:

- Forma de Operación.
 - Discontinuos
 - Continuos.
- Método de Transferencia de Calor.
 - Directos
 - Infrarrojos, Calor Radiante, Calor Dieléctrico
 - Indirectos.
- Naturaleza de la alimentación húmeda.
 - Secar
 - Líquidos, emulsiones.
 - Pastas y sedimentos.
 - Polvos húmedos fluyentes.
 - Sólidos granulares, cristales.
 - Sólidos fibrosos.

CLASIFICACIÓN DE SECADORES SEGÚN FORMA DE OPERACIÓN [1-4]

- Discontinuos, por lotes, batch.

Operan con un tamaño específico de alimentación para ciclos de tiempo dados. Requieren de mano de obra.



- Continuos.

Operación continua, sin interrupciones en tanto se suministre la alimentación húmeda.



CLASIFICACIÓN DE SECADORES SEGÚN METODO DE T. CALOR. [1-4]

- Directos (Convección)

- Discontinuos

- Secadores de Bandejas.
- Lechos fluidos.

- Continuos

- Secadores de Bandejas continuas.
- Secadores Neumáticos.
- Secadores Rotatorios.
- Secadores de Aspersión, Spray.
- Secadores de Túnel.



- Infrarrojos, Calor Radiante, Calor Dieléctrico

Se genera calor dentro del sólido ya sea por Radiación, Infrarrojo o aplicación de un Campo Eléctrico de alta frecuencia.



CLASIFICACIÓN DE SECADORES SEGÚN METODO DE T. CALOR. [1-4]

- Indirectos.
 - Discontinuos
 - Secadores de Bandejas vibratorias.
 - Secadores por Congelación.
 - Secadores Rotatorios al vacío.
 - Continuos
 - Secadores de cilindro.
 - Secadores de tambor.
 - Secadores de transportador de tornillo.
 - Secador Rotatorio de tubo de vapor.
 - Secadores de Bandejas vibratorias.



El calor se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. Se llaman Secadores por Conducción o de Contacto Indirecto.

CLASIFICACIÓN DE SECADORES SEGÚN LA NATURALEZA DE LA ALIMENTACIÓN [1-4]

- Líquidos, soluciones coloidales, emulsiones
 - Aspersión continuo.
 - Tambor continuo.
 - Discontinuo con agitación.
- Sólidos finos, pastas que puedan ser bombeadas
 - Tambor continuo.
 - Discontinuo con agitación.
 - Aspersión continuo.
- Pastas y sedimentos
 - Bandejas discontinuo.
 - Rotatorio discontinuo atmosférico o al vacío.
 - Aspersión continuo.
 - Lecho fluidizado.
 - Banda transportadora en Secador de Túnel.
 - Neumático continuo.
 - Rotatorio Continuo indirecto preferiblemente.



CLASIFICACIÓN DE SECADORES SEGÚN LA NATURALEZA DE LA ALIMENTACIÓN [1-4]

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Polvos húmedos fluyentes (<300micrometros) | <ul style="list-style-type: none"> • Bandejas discontinuo. • Rotatorio discontinuo atmosférico o al vacío. • Banda transportadora en Secador de Túnel. • Neumático continuo. • Rotatorio Continuo indirecto preferiblemente. • Aspersión continuo. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos granulares o cristalinos (>300micrometros) | <ul style="list-style-type: none"> • Los mismos que para polvos fluyentes. • Rotatorio directo continuo (menos cristales) • Túnel para gránulo preferiblemente. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos fibrosos. | <ul style="list-style-type: none"> • Rotatorio directo continuo. • Túnel para gránulo preferiblemente. |

Referencias

- [1] GEANKOPLIS " Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3era edición. Capítulo 9.
- [2] OCON; TOJO. "Problemas de Ingeniería Química". Capítulo 9. Aguilar. Madrid. 1974.
- [3] TREYBAL, R. "Operaciones de Transferencia de Masa". Capítulo 7. Mc Graw Hill. Capítulo 12. México. 1988.
- [4] PERRY."Manual del Ingeniero Químico". Tomo V. Mc Graw Hill. México. 1992.

Palabras claves: Secadores/ Dryer