

SECADO DE SÓLIDOS

1. OBJETIVOS DE SECADO

Secado • Remoción de agua de un cierto material en cantidades relativamente pequeñas.

- El agua se elimina en forma de vapor con aire.

Evaporación • Eliminación de cantidades apreciables de agua

- El agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición.

- El contenido de humedad final del producto seco final varía ya que depende del tipo de producto:

Sal seca 0,5%

Muchos productos alimenticios aproximadamente 5%.

- El secado suele ser la etapa final de los procesos antes del empaque y permite que muchos materiales alimenticios (ej. los colorantes) sean más adecuados para su manejo.
- El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos) se usa también como Técnica de preservación.

- ✓ Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua.
- ✓ Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10 % en peso. Sin embargo es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar el sabor y su valor nutritivo.
- ✓ Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua.
- ✓ Los alimentos secos pueden almacenarse durante períodos bastante largos.

2. METODOS GENERALES DE SECADO

Los métodos y procesos de secado pueden clasificarse de diferentes maneras:

2.1. De acuerdo al sistema o MODO DE OPERACIÓN:

a) Discontinuo o por lotes (batch)

Cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un período de tiempo. El aire recircula en el Secadero y se supone que las condiciones permanecen constantes con el tiempo.

b) Contínuos

Cuando el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene un material seco con régimen contínuo. Tanto la alimentación del sólido a secar como el aire entran contínuamente en el secadero, variando a través del mismo las condiciones del aire y del sólido a secar.

2.2. De acuerdo al modo de contacto de la FUENTE DE CALOR.

a) Secado por contacto directo

El calor necesario para la vaporización del agua lo suministra el aire.

b) Secado indirecto

El calor es suministrado por una fuente térmica a través de una superficie metálica en contacto con el objeto a secar.

2.3. De acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer el vapor de agua:

a) Secado a presión atmosférica

El calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina del mismo aire.

b) Secado al vacío

La evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación (también puede usar temperaturas bajas con vacío para ciertos materiales que pueden decolorarse o descomponerse a temperaturas altas).

c) Secado por congelación (liofilización)

El agua se sublima directamente del material congelado.

3. EQUIPOS PARA SECADO

EQUIPO PARA SECADO

Secador de Bandejas

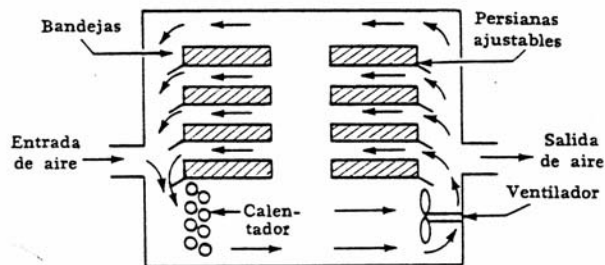


FIGURA . Secador de bandejas o anaqueles

Secadores Rotativos

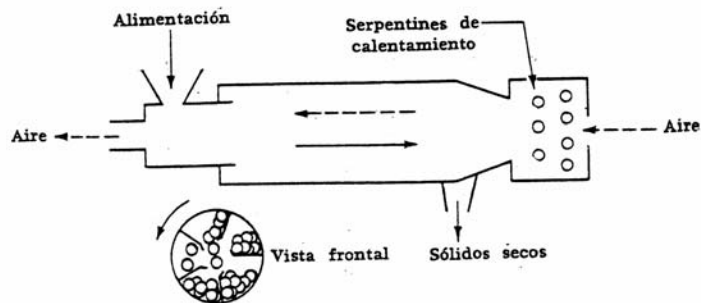


FIGURA . Diagrama esquemático de un secador rotatorio con calentamiento directo

Secadores de Tambor

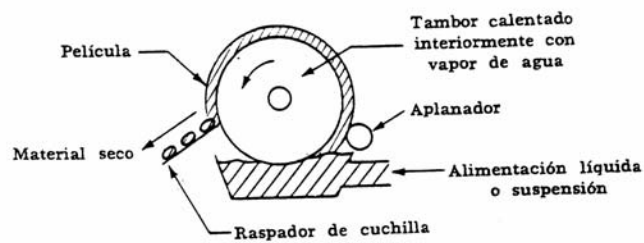


FIGURA . Secador de tambor rotatorio

Secadores Continuos de Túnel

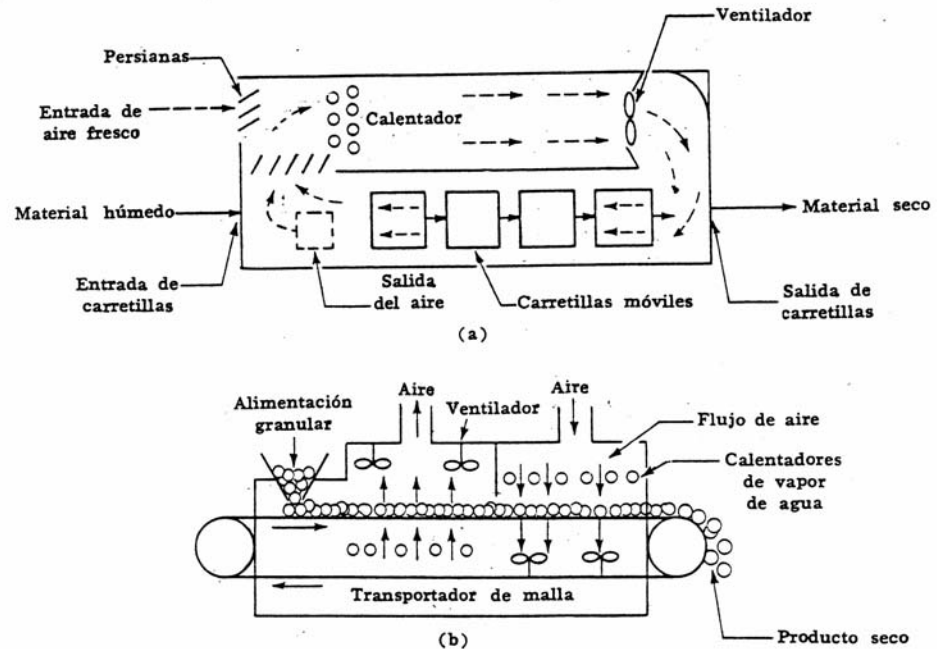


FIGURA Secadores continuos de túnel; (a) secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente, (b) secador de banda transportadora con circulación atravesadora

Secadores por Pulverización

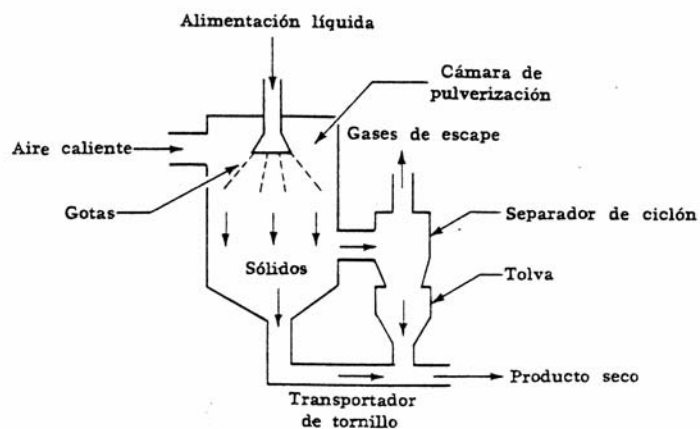
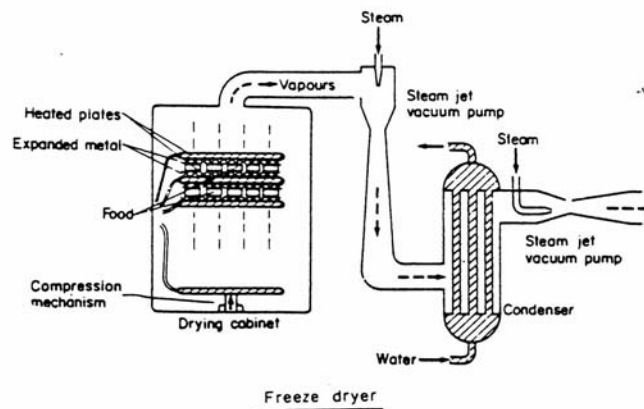
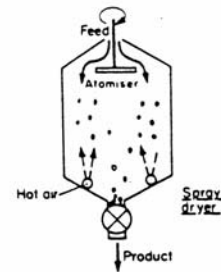
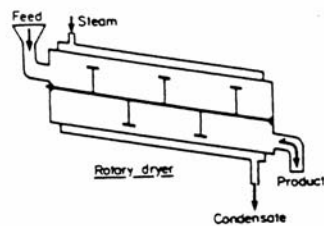
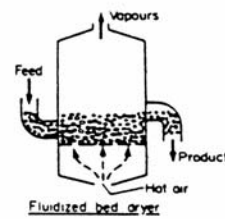
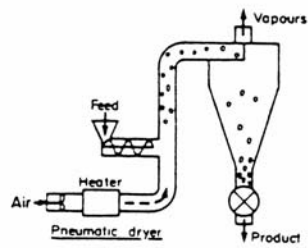
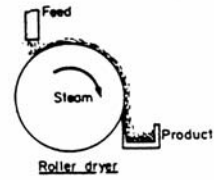
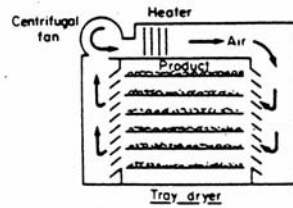


FIGURA Diagrama de flujo del proceso para una unidad de secado por pulverización

Dryers



4. CONCEPTOS BASICOS

4.1. Humedad

El contenido de la humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda.

En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad en base seca, debido a que ésta permanece constante a lo largo del proceso de secado.

4.2. Humedad de Equilibrio

La humedad de Equilibrio (X^*) es el límite al que puede llevarse el contenido de humedad de una sustancia por contacto con aire de humedad y temperatura determinadas.

Cuando un sólido húmedo se pone en contacto, durante tiempo suficiente, con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes (suponiendo que la cantidad de aire es lo suficientemente grande para que sus condiciones no varíen con el tiempo de contacto) se alcanzarán las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo.

El vapor de agua que acompaña el aire ejerce una presión de vapor determinada, por lo tanto

Se alcanzan las condiciones de equilibrio cuando:

$$\begin{array}{ccc} \text{Presión de vapor del agua que} & \equiv & \text{Presión de vapor del agua en el} \\ \text{acompaña al sólido húmedo} & & \text{aire} \end{array}$$

En conclusión : Se denominan **Humedad de Equilibrio** del sólido a la humedad alcanzada por el sólido en equilibrio con el aire en las condiciones dadas.

Si la humedad del sólido es mayor que la del equilibrio, el sólido se secará hasta alcanzar la humedad de equilibrio.

Humedad del sólido	>	Humedad de Equilibrio	⇒	El sólido se secará hasta alcanzar la humedad de equilibrio.
--------------------	---	-----------------------	---	--

	<			
Humedad del sólido		Humedad de Equilibrio	⇒	El sólido absorberá agua del aire hasta que alcance las condiciones de equilibrio.

Para condiciones dadas del aire la humedad de equilibrio es función de la naturaleza del cuerpo sólido, del estado de su superficie, y de su temperatura.

4.3. Datos Experimentales para el contenido de Humedad de Equilibrio de materiales Inorgánicos y Biológicos.

El contenido de humedad de equilibrio varía notablemente con el tipo de material para cualquier porcentaje de humedad relativa, tal como se muestra en la **Figura 1** para diversos materiales típicos a temperatura ambiente.

- * Los sólidos insolubles no porosos (Ej. lana de vidrio y caolín) tienden a tener contenidos de humedad de equilibrio bastante bajos.
- * Ciertos materiales esponjosos de tipo celular y de origen orgánico y biológico, suelen exhibir valores altos del contenido de humedad de equilibrio. Ej. la lana, el cuero, y la madera.

En general los materiales biológicos (alimentos) también presentan valores altos del contenido de humedad de equilibrio.

Los datos gráficos indican que con los valores altos de humedad relativa, de aprox. 60 - 80%, el contenido de humedad de equilibrio aumenta con gran rapidez al elevarse la humedad relativa.

En general, cuando las humedades relativas son bajas, el contenido de humedad de equilibrio es mayor para los materiales alimenticios con alto porcentaje de proteína, almidones u otros polímeros de alto peso molecular, y más bajo para los materiales alimenticios altos en sólidos solubles.

Las sales cristalinas y las azúcares, así como las grasas, generalmente absorben cantidades pequeñas de agua.

Efecto de la temperatura

El contenido de humedad de equilibrio de un sólido disminuye un poco al aumentar la temperatura.

Por ejemplo, para el algodón crudo con una humedad relativa de 50%, el contenido de humedad de equilibrio disminuye desde 7,3 Kg H₂O/100 Kg de sólido seco a 37,8 °C aproximadamente 5,3 Kg H₂O/100 Kg de sólido seco a 93,3 °C, esto es una disminución de casi el 25%.

Con frecuencia, para intervalos de temperatura moderados, se supone que el contenido de humedad de equilibrio es constante cuando no se dispone de datos experimentales a diferentes temperaturas.

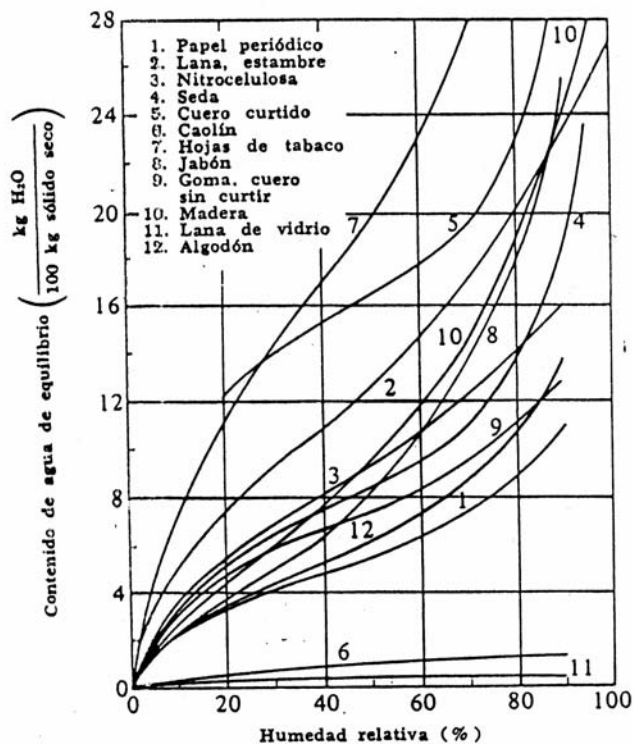


FIGURA . Contenidos de humedad de equilibrio típicos de algunos sólidos a aproximadamente 298 K (25°C).

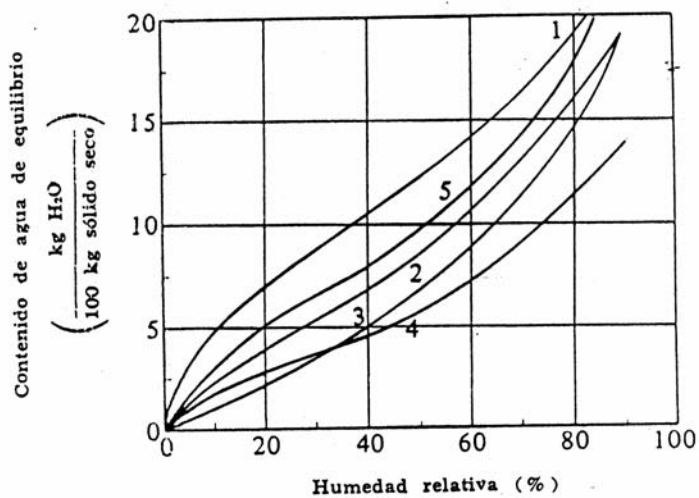


FIGURA Contenidos de humedad de equilibrio típicos de algunos materiales alimenticios a aproximadamente 298 K (25°C): (1) macarrones, (2) harina, (3) pan, (4) galletas, (5) albúmina de huevo.

4.4. Cuerpos Húmedos y Cuerpos Higroscópicos

Un sólido es Higroscópico cuando la presión de vapor del agua que acompaña al sólido es menor que la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura .

Un sólido es húmedo cuando la presión de vapor del agua que acompaña al sólido es igual a la presión de vapor del agua pura a esa temperatura.

4.5. Humedad libre

Se denomina Humedad Libre de un sólido, con respecto al aire en condiciones determinadas, a la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas: $F = X - X^*$ X = Humedad del sólido.

Es la humedad que puede perder el sólido después de un contacto suficientemente prolongado con el aire en condiciones dadas y constantes, y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire.

4.6. Agua Ligada o Agua Combinada

Es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado, o bien la humedad mínima del sólido necesaria para que este deje de comportarse como higroscópico.

El agua ligada se obtiene de la intersección de la línea humedad de equilibrio con la línea de humedad relativa 100%.

4.7. Agua no-ligada o agua sin combinar

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. Es evidente que si el sólido tiene humedad no-ligada se comportará como húmedo.

El agua sin combinar existe principalmente en los espacios vacíos en el sólido.

Problema:

En un ambiente con humedad relativa del 60% que se mantiene a 25°C hay nitrocelulosa con 20% de humedad (referida al sólido húmedo). Calcular, por cada 100 Kg de materia seca:

- a) Humedad Ligada
- b) Humedad no ligada
- c) Humedad de Equilibrio
- d) Humedad Libre

Solución:

La humedad referida al sólido seco será:

$$X = \frac{m_{H_2O}}{m_s} = \frac{20}{80} = 0,25 \text{ kg agua/kg sólido seco.}$$

Utilizando la curva de equilibrio para la nitrocelulosa dada en la Figura 1 tendremos:

- a) Agua ligada = 18,2 kg agua/100 kg sólido seco
- b) Agua no-ligada = 25 - 18,2 = 6,8 kg agua/100 kg sólido seco.
- c) Intersección de la curva de humedad de Equilibrio con la línea de 60%
Humedad de equilibrio (X^*) = 10,4 kg agua/100 kg sól. seco.
- d) Humedad Libre = $X - X^* = 25 - 10,4 = 14,6 \text{ kg agua/kg sól. Seco}$

Problema: Producto alimenticio

Con las mismas condiciones del aire para el problema anterior. Calcular para galletas que tienen un 25% de humedad referido al sólido húmedo, lo siguiente (por cada 100 Kg. sólido seco):

- a) Humedad Ligada
- b) Humedad No- ligada
- c) Humedad de equilibrio
- d) Humedad libre

Solución:

Humedad referida al sólido seco

$$X = \frac{25}{75} = 0,333 \text{ kg agua/kg solido seco}$$

- a) Agua Ligada $\equiv 17,5 \text{ kg agua/100 sól. Seco}$
- b) Agua no ligada $\equiv 33,3 - 17,5 = 15,8 \text{ kg agua/100 kg sól. seco.}$
- c) Humedad libre $= X - X^*$
 $= 33,3 - 7,4 = 25,9 \text{ kg agua/100 kg sól.seco}$