

SECADO

I.- Definición: La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa.

*Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa. ⁽¹⁾

II.- Cantidad de humedad de los sólidos:

El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, i.e. masa de agua por unidad de masa de producto húmedo, o sobre la base del peso seco, i.e. masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos desecados, el último método se utiliza más frecuentemente en los cálculos de la desecación. ⁽²⁾

1. L.O.D: Humedad de un sólido expresado en base al peso del solido húmedo. El contenido de humedad de un sólido o solución generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda, es decir, como:

$$\% \text{LOD} = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

LOD es calculada utilizando una balanza que tiene una fuente de calentamiento, no interfiriendo otros materiales volátiles.

CONTENIDO DE HUMEDAD (Moist Content) M.C: Para expresar la humedad de un sólido en base al peso de la muestra seca.

$$\% \text{MC} = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{peso de muestra seca}} \times 100$$

Este término es más real

- 1- Sólidos granulados, cristalinos o no porosos:

En los **sólidos cristalinos** el agua se encuentra retenida a poca profundidad y en superficie de los poros abiertos, así, como en los espacios intersticiales entre partículas que es fácilmente accesible a la superficie. Pertenecen a esta categoría los siguientes materiales: Sulfato de calcio, óxido de zinc, óxido de magnesio.

- 2- Sólidos amorfos o porosos:

En los **sólidos amorfos**, la humedad es una parte integral de la estructura molecular, el agua está físicamente retenida en los finos capilares y pequeños poros interiores. Estos materiales son de estructura fibrosa, amorfa, o gelatinosa; mas o menos difícil de secar. Pertenecen a esta categoría: el almidón, caseína, insulina, materiales gelatinosos como hidróxido de aluminio, entre otros.

III.- SECADORES:

1) EQUIPOS DE SECADO:

A) Secadores para sólidos y pastas:

✓ Secadores de platos perforados:

Los secadores de platos resultan convenientes cuando la velocidad de producción es pequeña. Prácticamente pueden secar cualquier producto. Con frecuencia, se utilizan en el secado de materiales valiosos tales como colorantes y productos farmacéuticos. El secado por circulación de aire sobre capas estacionarias de sólidos es lento y, por consiguiente, los ciclos de secado son largos; de 3 a 48 horas por carga.

Los secadores por platos pueden operar al vacío, casi siempre con calentamiento indirecto. Los platos se sitúan sobre placas metálicas huecas que se calientan con vapor de agua o con agua caliente o bien los

mismos platos están provistos de espacios para un complemento fluido El vapor que sale del sólido se retira mediante un eyector o bomba de vacío.

✓ **Secadores de tamices transportadores.**

Los secaderos de tamiz transportador operan de forma continua y suave con una gran variedad de sólidos; en su coste es razonable, y el consumo de vapor de agua es bajo, siendo típico el valor de 2lb de vapor de agua por lb. de agua evaporada. El aire puede circular desde una sección a otra en contracorriente con el sólido. Estos secaderos son especialmente aplicables cuando las condiciones de secado han de modificarse notablemente a medida que disminuye el contenido de humedad del sólido.

✓ **Secadores de Torre.**

Un secadero de torre contiene una serie de bandejas dispuestas unas encima de otras sobre un eje central rotatorio. La alimentación de sólidos se introduce sobre la bandeja superior y está expuesta a una corriente de aire o gas caliente que pasa sobre la bandeja. El sólido es después descargado por medio de una rasqueta y pasa a la bandeja inmediatamente inferior. De esta forma va circulando a través del secadero, descargando el producto seco por el fondo de la torre. Los flujos de gas y de sólido pueden ser en corrientes paralelas o en contracorriente. Los ventiladores de turbina hacen circular el aire o el gas hacia fuera entre algunas bandejas, pasando sobre los elementos de calefacción, y hacia dentro entre otras bandejas. Las velocidades del gas son generalmente de 2 a 8 pies/s (0,6 a 2,4m/s). Las dos bandejas inferiores del secadero constituyen una sección de enfriamiento de los sólidos secos. El aire precalentado generalmente se introduce por el fondo de la torre y se expulsa por la parte superior, dando lugar a flujo en contracorriente. Un turbo secadero funciona parcialmente con secado superficial, como en un secadero de torre, y parcialmente en forma de lluvia de partículas cuando éstas caen de una bandeja a otra.

✓ **Secadores rotatorios.**

Un secadero rotatorio consiste en una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontalmente o ligeramente inclinada hacia la salida. Al girar la carcasa, unas pestañas levantan los sólidos para caer después en forma de lluvia a través del interior de las carcasas. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro. Los secadores rotatorios se calientan por contacto directo del gas con los sólidos, por gas caliente que pasa a través de un encadenamiento externo, o por medio de vapor de agua que condensa en último de estos tipos recibe el nombre de secadero rotatorio con tubos instalados sobre la superficie interior de la carcasa. El último de estos tipos recibe el nombre de secadero rotatorio con tubos de vapor de agua. En un secadero rotatorio directo-indirecto el gas caliente pasa primeramente a través del encamisado y luego a través del encamisado y luego a través de la carcasa, donde se pone en contacto con los sólidos. Los secaderos rotatorios de este tipo se utilizan con frecuencia para sal, azúcar y todo tipo de materiales granulares y cristalinos que han de mantenerse limpios y que no se pueden exponer directamente a gases de combustión muy calientes.

✓ **Secadores de tornillo transportador.**

Un secadero de tornillo transportador es un secadero continuo de calentamiento indirecto, que consiste esencialmente en un transportador horizontal de tornillo (o un transportador de palas) confinado dentro de una carcasa cilíndrica encamisada. La alimentación de sólido entra por el otro extremo. El vapor que se desprende se retira a través de una serie de tuberías situadas en la parte superior de la carcasa. La carcasa tiene un diámetro de 3 a 24pulgadas (75 a 600mm) y una longitud mayor se instalan varios transportadores unos encima de otros formando una bancada. Con frecuencia en una bancada de este tipo la unidad inferior está a temperatura más baja, debido a que el sólido seco, antes de su descarga, es enfriado con agua u otro refrigerante que circula por el encamisado.

La velocidad de rotación del transportador es lenta, de 2 a 30rpm. Los coeficientes de transmisión de calor están basados en la superficie interior de la carcasa, si bien esta generalmente esta llena de un 10 a un 60 por 100. El coeficiente depende de la carga de la carcasa y de la velocidad del transportador.

Los secaderos de tornillo transportador tratan sólidos que son demasiado finos y demasiado espesos para operar con un secadero rotatorio. Están conjuntamente cerrados y permiten recuperar los vapores de disolvente con poco y ninguna dilución con aire. Cuando se les acopla un alimentador adecuado, pueden operar a un vacío moderado. Por tanto, pueden adaptarse a la separación y recuperación continua de disolventes volátiles a partir de sólidos húmedos con disolventes, procedentes de operaciones de lixiviación. Por esta razón a veces se les llama recuperadores de disolvente. Un tipo de secaderos relacionados con este equipo son los secaderos de película delgada.

✓ **Secadores de lecho fluidizado.**

Los secaderos en los que los sólidos estén fluidizados por el gas de secado se utilizan en diversos problemas de secado. Las partículas se fluidizan con aire o con gas en una unidad de lecho hirviente. La mezcla y la transmisión de calor son muy rápidas. La alimentación húmeda se introduce por la parte superior del lecho y el producto seco se retira lateralmente cerca del fondo. En el secadero hay una distribución al azar de los tiempos de residencia, siendo el tiempo medio típico de permanencia de una partícula en el secadero de 30 a 120s cuando solamente se vaporiza líquido superficial, y de 15 a 30 minutos si también hay difusión interna. Las partículas pequeñas se calientan hasta la temperatura seca del gas fluidizante a la salida; por consiguiente, los materiales técnicamente sensibles han de secarse en un medio suspendido relativamente frío. Aun así, el gas de entrada puede estar caliente ya que la mezcla es tan rápida que la temperatura es prácticamente uniforme en todo el lecho e igual a la temperatura de salida del gas. Si hay partículas finas, que entran con la alimentación o bien que se forman por la abrasión del lecho fluidizado, puede existir un considerable transporte de sólidos con el gas que sale y ser necesario instalar ciclones y filtros de mangas para la recuperación de finos.

Algunos secaderos de lecho fluidizado poseen compartimientos fluidizados separados, a través de los cuales pasan secuencialmente los sólidos desde la entrada hasta la salida. Reciben el nombre de secaderos de flujo pistón y en ellos el secado se pueden variar de un compartimiento está fluidizado con gas frío con el fin de enfriar los sólidos antes de la descarga.

✓ **Secadores Flash.**

En un secadero flash se transporta un sólido húmedo pulverizado durante pocos segundos en una corriente de gas caliente. El secado tiene lugar durante el transporte. La velocidad de transmisión de calor desde el gas hacia las partículas de sólido suspendido es elevada y el secado es rápido, de forma que se requieren más de 3 o 4 segundos para evaporar toda la humedad del sólido. La temperatura del gas es elevada—con frecuencia del orden de 1200 grados F a la entrada—, pero el tiempo de contacto es tan corto que la temperatura del sólido raramente supera los 100 grados F durante el secado. Por tanto, el secado Flash se puede aplicar a materiales sensibles que en otro tipo de secaderos tendrían que secarse indirectamente con un medio de calefacción mucho más frío.

B) Secadores para diluciones y suspensiones:

Algunos secaderos evaporan completamente disoluciones y suspensiones hasta sequedad por medios térmicos. Ejemplos típicos son los secadores de pulverización, los secaderos de película delgada y secadera de tambor.

✓ **Secadores de pulverización.**

En un secadero de pulverización se dispersa una disolución o suspensión en una corriente de gas caliente formando una niebla de gotas finas. La humedad es rápidamente evaporada de las gotitas para formar partículas residuales de sólido seco que después se separan de la corriente gaseosa. Los flujos de gas y líquido pueden ser en corrientes paralelas, en contracorriente o una combinación de ambos en una misma unidad.

Las gotitas se forman en una cámara cilíndrica de secado por la acción de boquillas de presión, boquillas de dos fluidos o en, secaderos de gran tamaño, por medio de discos de pulverización que giran a gran velocidad. En todos los casos es esencial conseguir que las gotitas o partículas húmedas de sólido choquen con superficies sólidas antes de que el secado tenga lugar, por lo cual la cámara de secado ha de ser necesariamente grande. Son frecuentes diámetros de 8 a 30pies (2.5 a 9cm).

Las principales ventajas de los secaderos de pulverización son el corto tiempo de secado, que permite el secado de materiales altamente sensibles al calor, y la producción de partículas esféricas huecas. La consistencia, densidad global, apariencia y propiedades de flujo deseadas para algunos productos, tales como alimentos o detergentes sólidos; pueden ser difíciles o imposibles de obtener mediante cualquier otro tipo de secadero. Los secaderos de pulverización también tienen la ventaja de producir, a partir de una disolución, suspensión, o pasta cremosa, en una sola etapa un producto se pueda envasar fácilmente. Un secadero de pulverización puede combinar las funciones de un evaporador, un cristizador, un secadero, una unidad de reducción de tamaños y un clasificador. Cuando puede utilizarse, la simplificación que resulta en el proceso global de fabricación puede ser considerable.

Considerando exclusivamente su acción de secado, los secaderos de pulverización no son muy eficaces. Generalmente se pierde mucho calor con los gases que salen. Son de gran tamaño, con frecuencia de 80pies (25m) o más de altura, y no siempre resultan de operación sencilla. La densidad global del sólido seco—una propiedad de radical importancia para productos envasados—con frecuencia es difícil de mantener constante, ya que puede ser muy sensible a variaciones del contenido de sólidos, a la temperatura de entrada del gas y a otras variables.

En el secado por pulverización de disoluciones la evaporación desde la superficie de las gotas conduce a la deposición de soluto en la superficie antes que al interior de la gota alcance su saturación. La velocidad de difusión del soluto hacia el interior de la gota es menor que el flujo de agua desde el interior hacia la superficie, de tal forma que todo el soluto se acumule en la superficie. Las partículas secas generalmente están huecas y el producto que se obtiene en un secadero de pulverización es muy poroso.

✓ **Secadores de película delgada.**

En algunos casos pueden ser competitivos con los secaderos de pulverización los secaderos de película delgada, que pueden aceptar una alimentación líquida o una suspensión para dar lugar a un producto sólido que fluye libremente. Generalmente se construyen en dos secciones; la primera de ellas es un secadero-agitador vertical. Aquí la mayor parte del líquido se separa de la alimentación, y el sólido parcialmente húmedo descarga en la segunda sección, donde el contenido residual del líquido del material procedente de la primera sección se reduce hasta el valor deseado.

La eficacia térmica de los secaderos de la película delgada es elevada y se produce una escasa pérdida de sólidos ya que poco o nada de gas se retira de la unidad. Son útiles para separar y recuperar disolventes de productos sólidos. Son relativamente caros y están limitados en cuanto al área de transmisión de calor. Tanto con alimentaciones acuosas como no acuosas la velocidad de alimentación aceptable está generalmente comprendida entre 20 y 40 lb/pie²-h (100 y 200 kg/m²-h).

✓ **Secadores de tambor.**

Un secadero de tambor consiste en uno o más rodillos metálicos calentado, en cuya superficie exterior se evapora hasta sequedad una delgada capa de líquido. El sólido seco es retirado de los rodillos a medida que estos giran lentamente. El líquido de alimentación queda confinado en la parte superior de los rodillos y limitado por placas estacionarias.

El calor es transmitido por conducción hacia el líquido que es parcialmente concentrado en el espacio comprendido entre los rodillos. El líquido concentrado desciende formando una capa viscosa que recubre el resto de la superficie de los tambores, dejando una delgada capa de material seco que es retirado mediante cuchillas rascadoras y cae en los transportadores situados debajo. La humedad evaporada se recoge y retira a través de la campana situada encima de los tambores.

Los secaderos de doble tambor son eficaces con disoluciones diluidas, disoluciones concentradas de materiales muy solubles, así como con suspensiones de partículas relativamente finas. No son adecuados para disoluciones de sales de solubilidad baja o para suspensiones de sólidos abrasivos que sedimentan y crean una presión excesiva entre los tambores.⁽³⁾

4.- Métodos especializados de secado:

➤ **Por Aspersión:**

El secado por aspersión, pulverización o "spray drying" se utiliza desde principios del siglo XX. Aunque existen patentes para el SA de huevos y leche desde 1850, la atomización industrial de alimentos apareció en 1913 en un proceso desarrollado para leche por Grey y Jensen en 1913. El primer equipo rotativo lo desarrolló el alemán Kraus (1912) pero, comercialmente se conoció gracias al danés Nyro (1933).⁽⁵⁾

El principio de este sistema es la obtención de un producto en polvo a partir de un material líquido concentrado que se pulveriza finamente formando una niebla que entra en contacto con una corriente de aire caliente (entre 200 y 300°C para alimentos) que actúa como medio calefactor y fluido de transporte.⁽⁵⁾

En estos sistemas la transformación tiene lugar mediante una única operación de una alimentación líquida (solución, suspensión o emulsión) en un producto seco en polvo.⁽⁶⁾

La alimentación es atomizada mediante un disco giratorio o boquillas de aspersión, donde la nube de gotas formada entra en contacto directo y por poco tiempo con una corriente de aire caliente; en consecuencia, se presenta una rápida evaporación que mantiene bajas temperaturas en las gotas atomizadas, favoreciendo la aplicación de altas temperaturas en el aire de secado sin afectar las características del producto.⁽⁶⁾

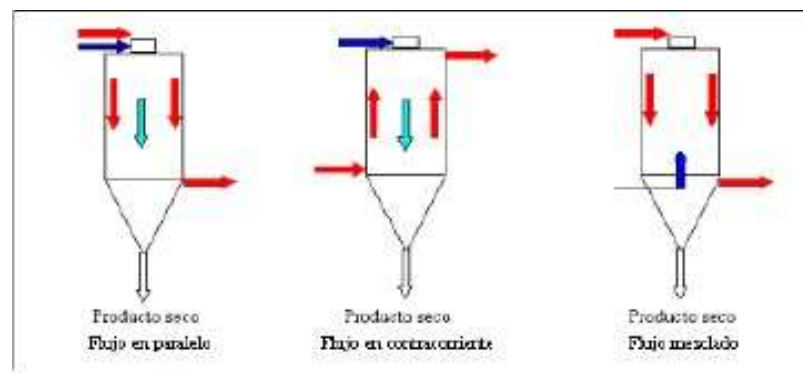
1. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ATOMIZACIÓN:⁽⁵⁾

Los elementos de un secador de este tipo son:

- Unidad de concentración
- Atomizador
- Cámara de secado
- Sistema de manejo de aire
- Sistema de separación
- Sistema de transporte y enfriamiento

La unidad de concentración es un evaporador que lleve el producto hasta concentraciones entre 30 y 55% de sólidos.

El atomizador puede usar energía de presión (toberas de presión), energía cinética (toberas de dos fluidos o atomización neumática) o energía centrífuga (discos rotativos). En cualquier caso se busca crear la máxima superficie posible para la evaporación con un tamaño de gota lo mas homogéneo posible.



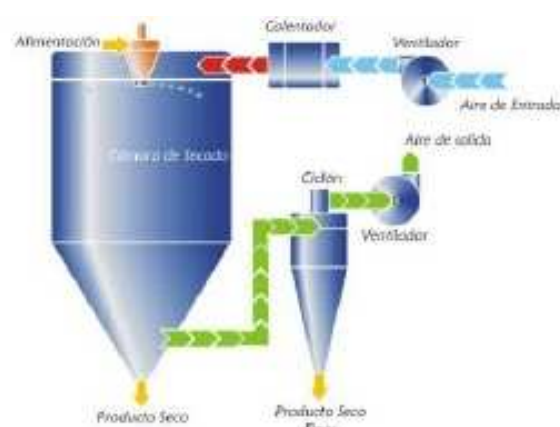
La cámara de secado más común es de tipo cilíndrico con un cono inferior que hace un ángulo con la vertical entre 40 y 60° para que pueda ser retirado de allí el polvo por gravedad. Esta unidad está aislada térmicamente para reducir pérdidas energéticas. Su tamaño varía desde unos metros hasta 30 metros de altura en las unidades más grandes.

Típicamente, el aire utilizado en la operación tiene temperaturas de entrada entre 100 y 300°C. Para alimentos termoestables como el café pueden usarse hasta 250°C mientras que para materiales delicados como leche o huevos pueden manejarse 100°C o menos. Las temperaturas de salida del aire oscilan entre 50° y 100°C. El calentamiento del aire se hace por métodos indirectos (vapor, gas o aceite como medios calefactores) o directo (gas o electricidad) y presenta distribuciones como las que se muestran en la figura anterior.

2. TIPOS DE SECADORES DE UN SISTEMA DE ATOMIZACIÓN:⁽⁶⁾

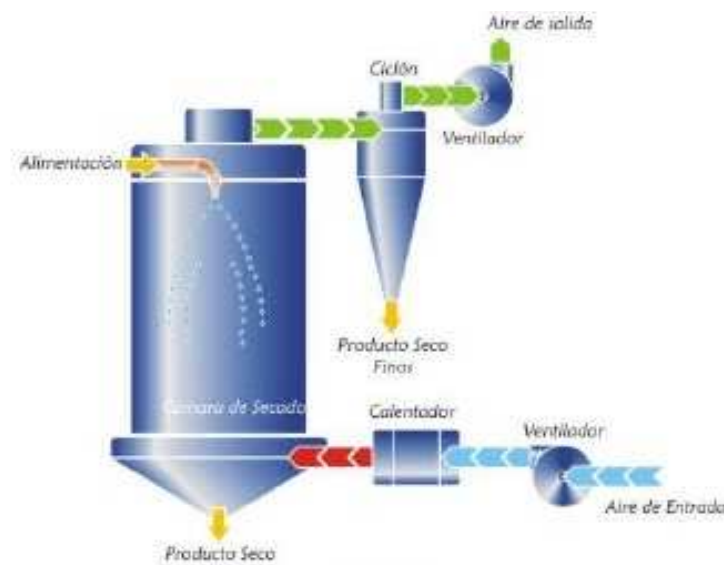
➤ Co-CORRIENTE:

El aire de secado y las partículas del producto se mueven en la misma dirección dentro de la cámara de secado. Las temperaturas en la descarga de producto del secador son más bajas que las del aire de salida, por ende este proceso es ideal para el secado de productos termo sensibles.



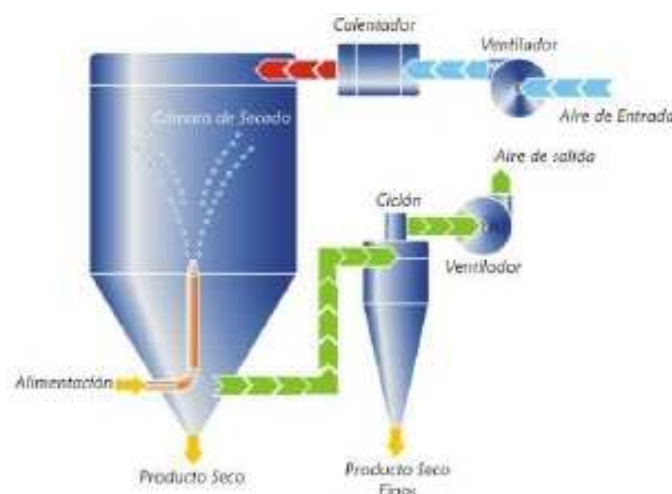
➤ CONTRA CORRIENTE:

El aire de secado y las partículas de producto se mueven en direcciones opuestas. Este modo es apto para productos que requieren temperatura o tratamiento térmico durante el secado. Las temperaturas en la descarga de producto del secador son usualmente más altas que las del aire de salida.



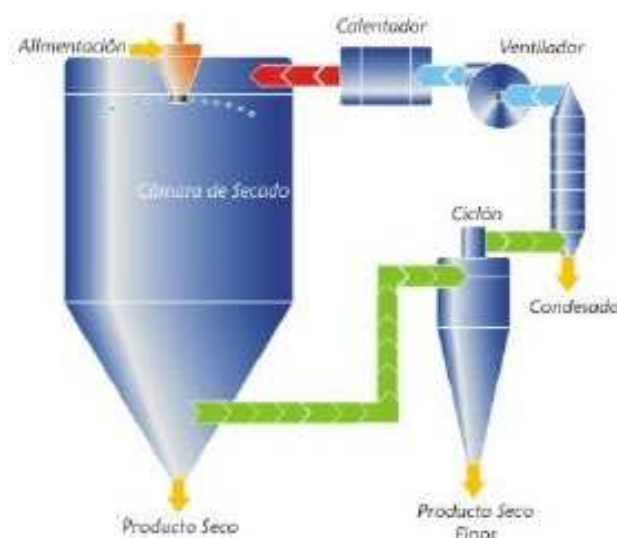
➤ FLUJO MIXTO:

Las partículas dentro de la cámara de secado experimentan las fases de secado en co-corriente y contra corriente. Este proceso es apto para producto térmicamente estables donde se busquen polvos gruesos secados con boquillas, atomizando en fuente hacia el aire de secado o en el caso de productos termo sensibles donde se atomiza hacia un lecho fluidizado integrado, donde tanto la entrada como la salida están ubicados en la parte superior de la cámara de secado.



3. SECADO EN ATMÓSFERAS DE BAJO CONTENIDO DE OXÍGENO

Los sistemas de secado por atomización convencionales emplean aire ambiente como medio de secado, estos son denominados de ciclo abierto. Sin embargo, cuando la alimentación contiene líquidos orgánicos el aire de secado deberá sustituirse por un gas inerte como el nitrógeno para eliminar el riesgo de explosión. Para recuperar totalmente el disolvente y reutilizar el gas inerte se emplean los sistemas cerrados donde el calentamiento se realiza de forma indirecta y emplea un condensador al final de ciclo.



4. VENTAJAS DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN:

Entre las principales ventajas del secado por atomización se tienen:

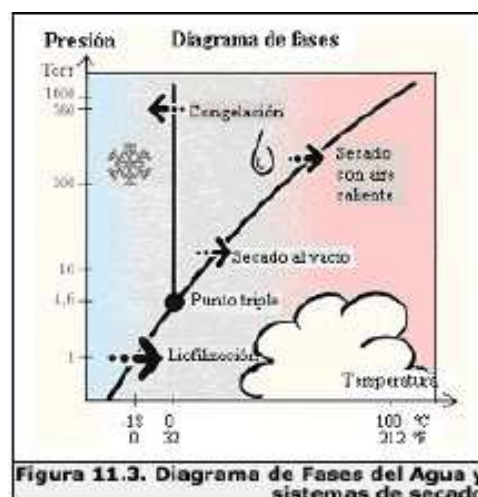
- Producción masiva y continua.
- Control de las variables finales de producto.
- Condiciones asépticas.
- Estandarización del proceso y el producto.
- Amplia gama de productos a secar.
- Características de polvo esférico.
- Fácil dosificación en procesos industriales.
- El producto no requiere de otro proceso y su presentación queda lista para vender.
- Proceso limpio.
- Equipo fácil de manejar.
- Secado rápido (tiempo de residencia del producto entre 10 y 30 s.).
- Ahorro energético.
- Disminución de la actividad del agua.
- Muy poca variación en las propiedades organolépticas.
- El proceso permite encapsulación

5. PROPIEDADES DE LOS PRODUCTOS SECADO POR ATOMIZACIÓN

- Posibilidad de densificación del producto.
- Posibilidad de aglomeración de partículas.
- Mezcla y homogenización del producto antes de secarse.
- Posibilidad de producto encapsulado.
- Rango del Producto desde polvo impalpable hasta granulado pasando por polvos finos
- Fácil de manejar
- Larga duración sin contaminación y sin descomposición.
- Conservación de características organolépticas.
- Disminución de procesos y mano de obra en su elaboración.
- Concentración homogénea del producto.
- Disminuye los costos y área de almacenamiento debido a la alta reducción de agua. (humedad final aprox. 4%).
- Disminución de costos energéticos, ya que los productos no requieren estar refrigerados.
- Abastecimiento de producto en tiempos de escasez.

➤ **Por Liofilización:**

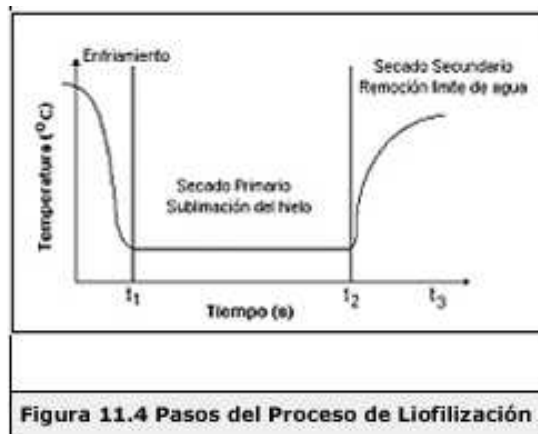
La Liofilización es un proceso de secado mediante sublimación que se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los medicamentos, los cuales se afectan en gran medida durante los procesos convencionales de secado.



La liofilización involucra varias etapas:

- Congelación (y acondicionamiento en algunos casos) a bajas temperaturas.
Cada producto debe congelarse de una manera tal que garantice que sufrirá pocas alteraciones en el proceso posterior de sublimación.
- Secado por sublimación del hielo (o del solvente congelado) del producto congelado, generalmente a muy baja presión y al vacío.

- Almacenamiento del producto seco en condiciones controladas.



Generalmente, al liofilizar adecuadamente un material se puede almacenar por períodos muy largos con reducciones muy bajas de sus características organolépticas, físicas, químicas y biológicas.

Cuando se realiza el secado mediante la liofilización se distinguen tres fases o etapas



Las tres fases que se distinguen son

Fase 1: Llamada etapa conductiva. Inicialmente, por el calentamiento de la muestra, la velocidad de sublimación crece rápidamente hasta llegar a un máximo. El tiempo para agotar esta fase es relativamente corto; en ella se lleva a cabo la mayor parte de remoción de agua del producto (entre un 75-90%), siendo el mecanismo preponderante la transferencia de calor por conducción.

Fase 2: Primera etapa difusiva. Muestra un descenso importante de la velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor a medida que procede el secado.

Fase 3: Segunda etapa difusiva. La velocidad de sublimación continúa decreciendo de forma que se aproxima a cero. Esto debido a que el calor necesario para retirar el agua ligada es mas alto que el calor de sublimación. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña es posible en esta etapa incrementar la temperatura de calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C, dependiendo del material que se trate.

La curva de velocidad de sublimación de la figura 11.5, indica solo la transferencia de masa. Como en todo proceso de secado, coexisten los fenómenos de transferencia de masa y calor, la curva de transferencia de calor en función del tiempo se obtiene multiplicando la cantidad de agua sublimada por su correspondiente calor de sublimación o desorción.

$$q=G(t)*HS$$

En la transferencia de calor y masa se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de presión como fuerzas impulsoras, que deben vencer las resistencias puestas por el espesor de la muestra y sus características físicas. El espesor es importante: mientras este es más delgado hay menor resistencia para que el flujo de calor y masa pase a través de la muestra.

La transferencia de calor se hace por conducción - convección gaseosa y radiación (o una combinación de ambos mecanismos) siendo esta última la preponderante cuando se opera a muy baja presión.

La mayor desventaja del proceso de liofilización es el costo de energía y el tiempo empleado en el proceso de secado.

Aspectos tecnológicos (Barbosa y Vega, 1996).

En los sistemas de liofilización el material congelado es colocado en bandejas. Se da lugar al inicio de vacío en una cámara hermética comenzando así la sublimación del hielo y el flujo de vapor pasa a través de la cámara al condensador. El calor es suministrado a través de platos o placas calefactoras, por conducción o radiación (Figura 11.6).

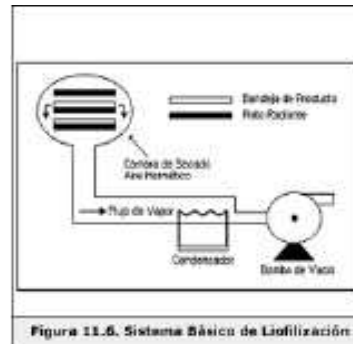


Figura 11.6. Sistema Básico de Liofilización.

La variable más importante del proceso es la presión: su incremento aumenta la transferencia de calor a expensas de una mayor resistencia a la transferencia de masa.

Otra condición importante es la temperatura de las placas calefactoras que afecta la velocidad de la transferencia de calor de la superficie del material congelado.

Existen tres variables importantes para diseño en el proceso de liofilización:

- El nivel de vacío en el interior
- El flujo de energía radiante aplicado al producto
- La temperatura del condensador.

Transferencia de masa y calor durante la liofilización

Los perfiles de temperatura y humedad en el interior del alimento durante la liofilización dependen de las velocidades de transferencia de masa y calor. El calor se transfiere a través del frente de sublimación o línea frontera entre las fases congelada y seca del producto. Dependiendo de la fuente de calor la transferencia podrá ser a través de la capa congelada, la capa seca o ambas.

➤ **Por microondas:**

Estos equipos generan energía radiante en forma de microondas. Estas ondas penetran el núcleo del material haciendo que el agua se evapora muy rápidamente. ***Este principio se puede combinar con los secadores de lecho móvil o estático.*** Es útil para secar a bajas temperaturas material termolábil como proteínas, vitaminas, material enzimas etc. Este equipo ahorra bastante energía en los procesos de secado.

Cuando nos referimos a un ***secador de lecho móvil***, notamos que las partículas que se están secando, se separan parcialmente de manera que fluyan unas sobre otras. El movimiento del material se produce o por gravedad o por agitación mecánica. Su gran ventaja es la separación resultante de las partículas y la exposición continua de nuevas superficies del material que permite un calentamiento más rápido al igual que una muy buena transferencia de masa.

En cambio cuando se trata de un ***secador de lecho estático***, observamos que no hay movimiento relativo entre las partículas sólidas a secar aunque puede haber movimiento total de la masa a secar. Se caracteriza porque solo una fracción de las partículas totales se expone directamente a las fuentes de calor, además la superficie de exposición puede aumentarse disminuyendo la espesura o grosor del lecho permitiendo al aire pasar a través de él.

La energía radiante del equipo de secado se mide en frecuencias, dichas frecuencias de microondas son parte de la porción de radiofrecuencias del espectro electromagnético. Generalmente, están consideradas las que caen en las frecuencias de alrededor de 1 GHz.

Este tipo de secado no contamina la muestra y seca rápidamente, pues actúa sobre toda la muestra en forma casi instantánea.

Túnel de secado por microondas:

Las microondas (2450 Mhz) producen un secado rápido, uniforme en el centro del producto. El vacío alcanzado (10-30 mbar) baja la temperatura de secado.

Gracias a la combinación y al control de estas dos técnicas, este equipo propone un secado continuo a baja temperatura (30-40°C), rápido (algunas decenas de minutos) que preserve los principios termosensibles y proteja al producto de cualquier alteración (oxidación, fermentación)

¿Qué tipo de productos se pueden secar?

Técnicamente todos los productos que se pueda bombear (en solución acuosa o alcohólica), pulverulentos o en trozos de tamaño reducido permitiendo un depósito y una descarga a granel, están adaptados a esta tecnología.

Cualitativamente, todos los productos termo sensibles, sensibles a la oxidación o macro biológicamente sensibles (flora por preservar o incluyendo un riesgo de fermentación), pueden ser tratados con esta tecnología.

Ventajas:

Tiempo de secado corto

Ausencia de oxígeno

Higiene

Baja temperatura

Referencias Bibliográficas:

1.-

(2) Brennan, J. et al. 1980. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. 2º ed. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España). pp 319.

(3) McCabe, Warren. (2002) Operaciones Unitarias en Ingeniería Química (6ª ed) México: Ed. McGraw Hill. pag: 857-870.

(4) Nonhebel, G. El Secado de Sólidos en la Industria Química. 1ª ed. España; 2002

(5) Secado por aspersión. Web sede. http://www.virtual.unal.edu.co/.../lecciones/.../leccion7_7.htm. [Visitado el 13 de febrero del 2010]

(6) Secado por atomización. Web sede. <http://www.vibrasec.com/pag/tecsecspray3.htm>. [Visitado el 13 de febrero del 2010]

www.frlp.utn.edu.ar/quimica/Practicas/.../Op...OperacionesII.pdf

<http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S08.htm>

http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/06/06_equipos.html