

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



MONOGRAFIA

TIPOS DE SECADO EN ALIMENTOS

Por:

ORLANDO CANO CRUZ

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, saltillo, Coahuila, México. Marzo del 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



MONOGRAFÍA

TIPOS DE SECADO EN ALIMENTOS

Por:

ORLANDO CANO CRUZ

Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Dr. Heliodoro de la Garza Toledo
Presidente del Jurado

Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó
Sinodal

Dr. Enrah Castro Narro
Sinodal

Dr. Ramiro López Trujillo,
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, saltillo, Coahuila, México. Marzo del 2014

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA TERRA MATER por darme la oportunidad de desarrollar mis aptitudes y destrezas y darme una formación más en vida como estudiante y de esta manera lograr un objetivo más en la vida.

A DIOS por darme las fuerzas y ganas de salir adelante, mantenerme con salud y nunca perder la ganas de sobresalir.

A mis maestros quienes durante la estancia en la escuela fueron los responsables de mí formación profesional.; especialmente al Dr. Heliodoro de la Garza Toledo, Laura Olivia Fuentes Lara, MC. Oscar Noé Reboloso, Dr. Mario Alberto Cruz Hernández. Dr. Antonio Aguilera Carbó.

Con gran respeto y profundo agradecimiento al Dr. Heliodoro de la Garza Toledo por haberme apoyado en este proyecto de trabajo (Monografía) y por todos los consejos recibidos durante mi estancia en la escuela.

Al MC. Serafín profesor de administración, por sus preocupaciones y consejos de aprendizajes.

A mis amigos y amigas (Luis Andrés Moreno Rodríguez, Joaquín Pliego Sánchez, Lourdes Candelaria García Hdez.), que durante mi estancia en la escuela compartimos, muchas alegrías, tristezas, sobre todo hicieron un camino lleno de felicidad y nuevas amistades que dejan una huella en cada momento compartido con ellos.

A mis amigos externos de la escuela, Euclides, Yosimar, por sus consejos y enseñanzas.

A todos mis demás amigos de otras especialidades que compartieron clases conmigo además de enseñanzas y aprendizajes.

Todos aquellos que no creyeron en mí les digo si se pudo.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES.

EDILBERTO CANO OJENDIS.

APOLINARIA CRUZ ANTONIO.

Por haberme traído a este mundo por todo su amor y cariño brindado, regaños, consejos, y por hacer de mí una persona de bien

Por su gran esfuerzo y dedicación, día a día se despertaban con preocupación para que pudiera seguir adelante y no tomar caminos ni decisiones incorrectas.

A MIS HERMANOS

Muy en especial para mi hermano Gregorio Cano Cruz (+) cuando él murió le hice una promesa la cual estoy cumpliendo y va dedicado para ti.

También dedicado para mis demás hermanos por su gran apoyo tanto económico como moral, además de preocupaciones:

Honorina

Oliva

Gustavo

Ángela

Serafín

A MIS TÍOS.

Dionisio Luna, Amado Luna, Gaudencia Cano, Irene Cruz, Maximino Cruz.

Por sus sabias enseñanzas y consejos en la vida y motivaciones para sobresalir adelante y pensar en un bienestar para mí.

A MIS PADRINOS

Alberto Leyva, y Reyna Ramírez, por la gran confianza que ha existido entre ellos.

A mis primos y primas, por animarme a echarle ganas a la escuela además de los momentos compartidos que hoy son enseñanzas aprendidas.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVO.....	13
JUSTIFICACIÓN	13
CAPÍTULO I	14
ANTECEDENTES DEL SECADO DE LOS ALIMENTOS.....	14
¿POR QUÉ SECAR LOS ALIMENTOS?	14
CAPITULO. II.....	17
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS DEL SECADO.....	17
1).- Velocidad de secado	17
2).- Periodo de velocidad constante.....	17
3).- Influencia en la composición de los alimentos.....	18
4).- Propiedades de los materiales alimenticios	19
5).- Aspectos bioquímicos.....	19
6).- El tipo de agua en los alimentos	20
7) Contenido de humedad.	20
8).- El grado de secado	21
9) Velocidad de secado.....	22
10) Balances de materia y energía.....	23
CAPITULO III	26
CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SECADOS.....	26
Factores que se deben tomar en cuenta a la hora de seleccionar un proceso de secado	27
CAPÍTULO IV.....	28
DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y PROCESOS DE SECADOS UTILIZADOS EN ALIMENTOS.....	28
1.- HORNOS SECADORES	29
Campo de aplicación del secado por horno.....	29
Ventajas	30
Características del equipo del secado por horno	30
2- SECADOR DE CABINA O BANDEJA.....	31
Características del secado por bandejas.	31
3- SECADOR DE TAMBOR	33
Descripción del sistema de secado por tambor de rodillos	34

Características del equipo de tambor	35
Transferencia de masa en el quipo de tambor	36
Ventajas del secador por tambor	37
Desventajas:.....	37
Variables consideradas en el secado de tambor	37
Método de operación, por lotes o continuo.	37
Método de obtención del calor necesario para la evaporación de la humedad.	38
Naturaleza de la sustancia que se va a secar	38
Ejemplo de secadores de tambor	39
4.- SECADOR ROTATORIO O ROTATIVO	40
Ventajas	41
Desventajas.....	42
Tipos de secadores rotatorios	42
4.- SECADORES DE TÚNEL	43
Características de los secadores de túnel	45
6- SECADO POR ASPERSIÓN	47
Ventajas	49
Desventajas.....	49
Variables del proceso	49
Características medibles del producto	49
Funcionamiento del proceso de secado por aspersión.....	51
Campos de aplicación del secado por aspersión.....	52
7.- SECADEROS DE LECHO FLUIDIZADO	53
Campo de aplicación	54
Etapas del proceso de liofilización.....	59
Ventajas y desventajas del proceso de liofilización	59
Campos de aplicación de la liofilización	60
9.- DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	62
Ventajas de la deshidratación osmótica	63
Inconvenientes que pueden presentarse en el proceso de deshidratación osmótica.....	65
Diseño de equipos de deshidratación osmótica	66
10.- SECADO POR MICROONDAS	67

Principales componentes y función de las partes del microondas.....	68
Ventajas y desventajas de microondas en el secado	70
CAPITULO V.....	71
CONCLUSIÓN.....	71
CAPÍTULO VI.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Nombre de la figura	Página
fig.1	Grafica de secado vs tiempo.....	18
fig.2	Horno secador.....	31
fig.3	Secador de bandeja.....	33
fig.4	Secadora de tambor.....	35
fig.5	Secado de tambor.....	36
fig.6	Secador de tambor.....	40
fig.7	Secador rotatorio.....	41
fig.8	Secador rotatorio de calor directo.....	42
fig.9	Secador de túnel.....	47
fig.10	Equipo de secado por aspersion.....	51
fig.11	Esquema de un secadero atomizador.....	51
fig.12	Secador de lecho fluidizado.....	55
fig.13	Diagrama de secado de lecho fluidizado.....	56
fig.14	Diagrama de un equipo de Liofilización industrial.....	58
fig.15	Proceso de liofilización.....	58
fig.16	Diagrama de deshidratación osmótica.....	64
fig.17	Principales etapas en el procesamiento de productos deshidratados osmóticamente.....	64
fig.18	Diagrama de los componentes del microondas.....	69

INTRODUCCIÓN

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de alimentos. Muchos granos de cereal son conservados por un proceso de secado natural muy eficiente que requiere poco del esfuerzo del humano. Sin embargo hubo periodos climatéricos que hacían que los granos no se secaran apropiadamente, para esto el hombre ayudó a la acción natural suministrando calor a los granos que de otra forma podían descomponerse. El secado por el sol permanece aún como como la mayor acción en la preservación de alimentos (Thompson, 1992).

El secado es un proceso de conservación de alimentos que impide cualquier actividad microbiana o enzimática al eliminar una gran cantidad de agua en ellos. Surgió a partir de la necesidad de consumir, fuera de su época de cosecha o producción, alimentos susceptibles a pudrirse debido a su composición química (Orozco, 2006).

El secado consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual.

La deshidratación es un método de estabilización de alimentos que se basa en la reducción de la actividad del agua (a_w) para retardar los procesos de deterioro a los que se ve sometido un alimento. Se distingue muy claramente de la concentración o evaporación porque, aunque ambas operaciones se basan en disminuir la actividad del agua, la concentración o evaporación da productos líquidos, que aun contienen cantidades del orden de hasta el 50% en agua. Los productos de la deshidratación son sólidos con un contenido en agua inferior al 10%.

Utilizamos el término genérico “deshidratación” porque durante esta operación no solo se retira el agua que actúa como disolvente o inerte que diluye el alimento, sino que se retira agua que entra en la constitución de las estructuras y tejidos del alimento. Por ello, la deshidratación provoca a menudo profundos cambios en las

cualidades organolépticas de los alimentos, por lo que no es adecuada para muchos alimentos.

El agua es eliminada de los alimentos por las condiciones naturales del campo, por una variedad de procesos controlados de deshidratación.

El secado ha sido desde los tiempos más remotos un medio de conservación de los alimentos (Potter, 1999).

La deshidratación es una operación en la cual tienen lugar la transferencia de calor y la transferencia de masa. El calor es transferido al agua en el producto y el agua es evaporada. Por lo tanto se elimina el vapor de agua.

Los secadores pueden ser divididos en dos clases:

1).- Secadores adiabáticos: en los cuales el calor es llevado dentro del secador por un gas caliente. El gas cede el calor al agua en el alimento y lleva hacia afuera el vapor de agua producido, (el gas caliente puede ser producto de combustión o aire calentado).

2).- Secadores no adiabáticos en los cuales la transferencia de calor es a través de una superficie sólida: donde el calor es transferido al producto a través de una placa metálica, la cual lleva también el producto, El producto es sometido a un vacío donde el vapor del agua es extraído por medio de una bomba, en otros casos el producto es expuesto al aire y el vapor de agua es eliminado por el aire circulante (Desrosier, 1990).

Se usan muchos tipos de secadores en la deshidratación de alimentos, la selección de un tipo en particular es guiada por la naturaleza del producto que va a ser secado, así como la forma deseada del producto terminado, la economía y las condiciones de operación.

Los tipos de secadores y los productos en los que se utilizan son los siguientes:

Secador de tambor: leche, ciertos jugos de hortalizas, arándanos y plátanos.

Secadores de aspersion: huevos enteros, yema de huevos, albumina de sangre y leche.

Cámara de secado al vacío: producción limitada de ciertos alimentos.

Secador al vacío continuo: frutas y hortalizas.

Secador de banda continua (atmosférico): hortalizas.

Secador congelado: carnes (Desrosier, 1990)

La deshidratación implica el control sobre las mediciones climáticas dentro de una cámara o el control de un micro medio circundante. El secado solar está relacionado con los alimentos. Los alimentos secados en una unidad deshidratadora pueden tener mejor calidad que sus duplicados secados al sol. El secado solar para fruta requiere, aproximadamente, 0.5 hectáreas de superficie secadora por cada 8.1 hectáreas de tierra sembrada.

Obviamente la deshidratación es un proceso más caro que el secado solar pero, los alimentos secados por deshidratación pueden tener más valor monetario debido a la mejor calidad además de controlar ciertos factores (Desrosier, 1990).

Palabras claves: tipos de secado en alimentos, secado, equipos de secado, liofilización, secado de tambor, secado por aspersion, alimentos deshidratados, deshidratación. conservación de alimentos.

OBJETIVO

El objetivo de esta monografía es presentar en forma concisa los diferentes tipos y equipos de secado y así como su aplicación en algunos alimentos.

JUSTIFICACIÓN

El secado de los alimentos es de suma importancia en la vida de del ser humano, esto conlleva a tener una fuente de alimentación en épocas de escases.

Para conservar los alimentos se tienen que tomar en cuenta varios aspectos a la hora de someterlos a tratamientos uno de ellos a considerar es el tipo de equipo y método de secado, además de pH, actividad del agua, y los costos del proceso.

De esta forma consideramos que la información es de suma importancia ya que define las características de los métodos y algunos equipos de secado de esta manera contribuimos en el presente trabajo para el enriquecimiento y concentración del conocimiento e información en este ramo, para los estudiantes de la carrera de ICTA.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DEL SECADO DE LOS ALIMENTOS

El uso del calor del fuego para secar alimentos fue descubierto independientemente por muchos hombres en el nuevo y viejo mundo. El primer hombre secó sus alimentos en sus refugios; los indios americanos precolombinos usaron el calor del fuego para secar los alimentos. Pero no fue hasta 1795 que se inventó el cuarto de deshidratación de aire caliente. El equipo MASSON Y CHALLET en Francia desarrolló un deshidratador de hortalizas que consistía de un flujo caliente (105°C) sobre tajadas delgadas de hortalizas, el enlatado y la deshidratación aparecieron aproximadamente al mismo tiempo hace casi siglo y medio. El significado del término deshidratación se considera que es secado artificial de igual manera en las industrias alimentarias.

¿POR QUÉ SECAR LOS ALIMENTOS?

El secado es uno de los métodos más antiguos para deshidratar alimentos, el cual involucra de manera simultánea la transferencia de materia y energía. La transferencia de materia se considera como la transición física del agua del estado líquido al de vapor, en donde la transferencia de masa tiene lugar cuando existe un gradiente de concentración o de presión. La búsqueda de alternativas para el estudio del fenómeno de secado, ha sido planteada a través de metodologías tradicionales, tales como el uso de secadores en lechos fijos en los que se manejan flujos de aire en una sola dirección (Mendoza y col., 2011).

Los alimentos secos y deshidratados son más concentrados que cualquier otra forma de productos alimenticios preservados. Además de ser menos costosos los

equipos del proceso son limitados y los requerimientos de almacenamientos del alimento seco son mínimos por lo tanto los costos de distribución son reducidos (Desrosier, 1990).

La conservación de alimentos por desecación se ha practicado durante siglos. Prácticamente desde la era de la prehistoria donde el hombre se percató que los frutos y granos que recogía, duraban más tiempo cuando se exponían por un tiempo a los rayos del sol.

- El primer hombre secó sus alimentos en sus refugios.
- Los indios americanos precolombinos usaron el calor del fuego para secar alimentos.
- El uso del fuego para secar alimentos fue descubierto independientemente por muchos hombres en el Nuevo y Viejo Mundo.
- En 1795, se inventó el primer cuarto de deshidratación de aire caliente (Brennan, 1980).

En la actualidad se realizan muchos estudios sobre la disminución de la actividad de agua de los alimentos, ésta tecnología impide el crecimiento microbiano y por lo tanto aumenta el tiempo de vida útil del alimento. La reducción de la actividad de agua puede ser obtenida por medio del secado (Web 1).

El secado ha sido, desde tiempos remotos, un medio de conservación de alimentos. El agua retirada durante este secado, deshidratación o concentración, puede ser eliminada de los alimentos por las simples condiciones ambientales o por una variedad de procesos controlados de deshidratación en los que se someten a técnicas que emplean diferentes medios como calor, aire, frío, y ósmosis. El secado al sol permite retirar agua hasta niveles del 15%, que es suficiente en algunos casos. Por este sistema se requiere un espacio bastante grande y los alimentos expuestos al sol son susceptibles a la contaminación y a pérdidas debidas al polvo, los insectos, los roedores y otros factores Por las razones anteriores el secado al sol evolucionó a fin de realizarlo en recintos

interiores en donde las condiciones pudieran ser controladas en forma más eficiente. Hoy en día el término deshidratación de alimentos se refiere al secado artificial bajo control. Esta eliminación de agua puede ser casi completa y se busca prevenir al máximo los cambios en el alimento, a fin de lograr luego, durante la reconstitución, obtener productos lo más parecidos a los alimentos originarios. Los niveles de humedad remanente llegan alcanzar valores de 1 al 5%, según el producto. Por lo general la calidad lograda en la de deshidratación es proporcional al costo del proceso aplicado, existiendo sus excepciones (Web 2).

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS DEL SECADO

1).- Velocidad de secado

La velocidad del secado de un material va a depender de las propiedades del material como la densidad global de masa del material deshidratado, el contenido inicial de humedad. Es necesario evitar la velocidad máxima del secado para evitar que resulte encogimiento, endurecimiento superficial, agrietamiento de la superficie u otros efectos indeseables en el secado.

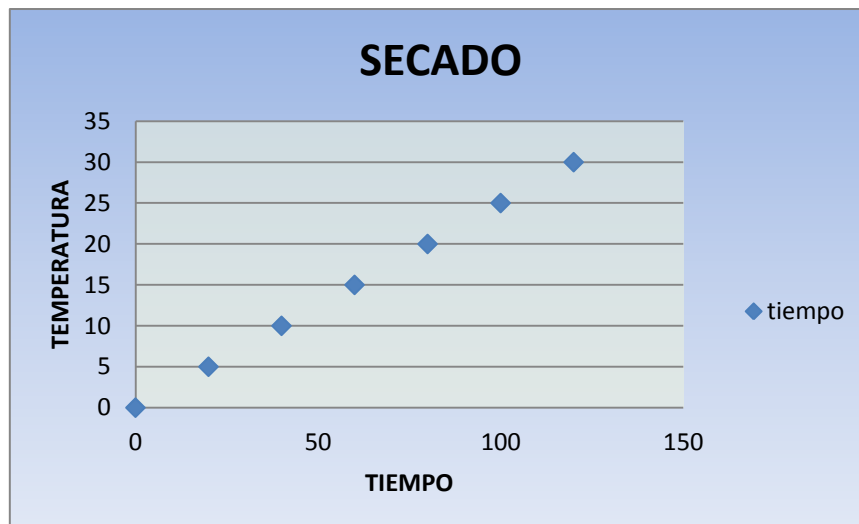


Fig.1; secado vs tiempo

2).- Periodo de velocidad constante

Se caracteriza por la evaporación de humedad a partir de una superficie saturada: incluye la difusión de vapor de agua desde una superficie saturada del material a través de una película delgada del aire. La velocidad de secado está controlada

por la velocidad de transferencia de calor a la superficie, la temperatura permanece constante (Desrosier, 1990).

Para realizar el cálculo de velocidad constante se determina a partir de la curva de secado utilizando la siguiente fórmula:

$$t = \frac{Ms}{ARc} (X1 - X2) + In - \frac{X1}{X2}$$

t = tiempo total de secado

X1= contenido inicial de humedad

X2 = contenido final de humedad

Rc = tiempo de secado parcial

A= Área total

Curva de secado de alimentos

Cuando se secan los alimentos no pierden agua a velocidad a constante hasta que esté completamente seco.

3).- Influencia en la composición de los alimentos

Los alimentos deshidratados siempre han sido utilizados para consumo directo en épocas de escasez, sin embargo, actualmente están siendo muy utilizados para la formulación de otros tipos de alimentos, ya sea como ingredientes de alimentos funcionales, bocadillos, productos lácteos, desayunos integrales, barras de cereales o como parte de alimentos con componentes prebióticos o probióticos. No obstante, gran parte de los alimentos deshidratados se deben rehidratar en soluciones determinadas como agua, azucaradas, salinas, entre otras, antes de ser consumidos (Marín y col., 2006).

Al deshidratar un alimento, sus propiedades físicas y química sufren cambios, ya que la temperatura, la pérdida de humedad y la consecuente concentración de los

solutos influyen sobre las proteínas, vitaminas, carbohidratos, grasas y pigmentos (Estrada, 2006).

4).- Propiedades de los materiales alimenticios

Los factores físicos que afectan la transmisión de calor y la transferencia de masa, tales como temperatura, humedad, velocidad del aire, la geometría requerida para proporcionar el área máxima de superficie, y otros son relativamente fáciles de controlar y de resolver en forma óptima y son determinantes en el diseño de secadores.

Una condición especial relacionada con el encogimiento y sellado de la superficie de una pieza de alimento se conoce como endurecimiento de la cubierta. Esto puede suceder cuando hay una temperatura muy alta en la superficie y la pieza se seca de manera desigual, de suerte que forma rápidamente una piel seca, antes de que la mayor parte de la humedad del centro se escape hacia la superficie, esta piel que es bastante impermeable, luego presiona gran parte de la cantidad de agua en el alimento y la velocidad de secado disminuye notablemente (Potter, 1999).

5).- Aspectos bioquímicos

Los procesos de secados emplean normalmente calor, solventes o fuerzas mecánicas, por tanto aun que el principal propósito del secado sea la conservación los efectos de estos factores sobre los microorganismos y enzimas presentes en los alimentos es un asunto importante que debemos tener en cuenta en el secado.

El secado reduce la actividad del agua, conservando así los alimentos impidiendo el crecimiento microbiano y las reacciones químicas que deterioro en el producto. Los efectos del calor sobre los microorganismos y enzimas son también importantes por una parte para garantizar una adecuada conservación de los

alimentos, debe procurarse que la inactivación biológica sea lo más elevada posible a todos los niveles. Pero por otra parte en el caso de cultivos bacterianos y productos bioactivos, debe tenerse cuidado especial en que el daño producido en el secado sea mínimo, así pues los efectos del secado pueden ser deseables o indeseables, según el propósito del secado.

La inactivación de enzimas durante el secado por atomización se debe principalmente al efecto de las altas temperaturas, sin embargo en las bacterias la inactivación que tiene lugar durante el secado es debida a las altas temperaturas como a la deshidratación. Los daños causados al patógeno *Coxiella burnettii* coinciden con la fosfatasa alcalina durante la pasteurización de la leche (Shafiur y Conrad, 2003).

6).- El tipo de agua en los alimentos

El concepto de agua ligada y agua libre ha sido desarrollado a través de los principios del secado. El producto que no contiene agua se denomina totalmente seco.

El estado del agua en los alimentos es importante para el proceso de secado, así como para la estabilidad de los alimentos durante su almacenamiento. La energía de enlace de los diferentes estados del agua afecta el proceso de secado ya que requiere más energía para eliminar agua ligada que agua libre (Shafiur y Conrad, 2003).

7) Contenido de humedad.

El agua es el principal componente de los alimentos, ayudándoles a mantener su frescura, sabor, textura y color. Además de conocer el contenido de agua o humedad de un alimento, es imprescindible conocer si ésta está disponible para ciertas reacciones bioquímicas, enzimáticas, microbianas, o bien interactuando con otros solutos presentes en el alimento, como son, proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas (Marín y col., 2006).

Antes de comenzar con el estudio de los balances de materia y energía en el proceso de secado, resulta conveniente definir y conocer algunos términos que permiten expresar la cantidad de agua que contiene el sólido a secar, así como la cantidad de agua que es necesario eliminar para secarlo. Al igual que en el caso del aire húmedo, consideraremos que el sólido húmedo está formado por una parte completamente seca (sólido seco) más una cierta cantidad de agua.

Contenido de humedad en base húmeda, es la cantidad de agua que contiene el sólido referido al sólido húmedo (sólido seco + agua).

$$W = m_w / (m_w + m_s); \text{ kg de agua / kg sólido (x100 = \%)}$$

Contenido de humedad en base seca, es la cantidad de agua referida al sólido seco: $W_s = m_w / m_s \text{ kg de agua / kg sólido seco (x100 = \%)}$.

Donde hay que tener en cuenta que este porcentaje puede ser mayor del 100% en el caso de que el producto contenga más agua que parte sólida.

Resulta muy sencillo relacionar un contenido con el otro:

$$W = W_s / (W_s + 1); W_s = W / (1 - W) \text{ (Cachadiña, 2006).}$$

8).- El grado de secado

En el caso de procesos térmicos y osmóticos, para estimar el punto de equilibrio se usa comúnmente la actividad del agua (isotérmica). En el secado mecánico, el punto de equilibrio se encuentra afectado por la magnitud de la fuerza aplicada y por las propiedades reológicas de los alimentos.

Generalmente la carne, el pescado y los productos lácteos se deshidratan hasta un contenido de humedad del 3% o meno; los productos vegetales normalmente hasta el 5%; y en el caso de los productos derivados de cereales frecuentemente se considera aceptable un contenido de humedad de hasta 12%. Generalmente para cada producto deshidratado, se establece un nivel de humedad máximo de acuerdo a la calidad deseada tras el secado y durante su almacenamiento,

deberían considerarse todos los aspectos desde ña seguridad, en primer lugar hasta la aceptación de producto ´por parte de los consumidores (Shafiur y Conrad, 2003).

Tradicionalmente el estudio de la operación de deshidratación se realiza a través de determinaciones de masa del producto durante el tiempo de tal manera de realizar posteriormente las correspondientes gráficas de secado. Estos experimentos pueden resultar tediosos, por la extensión que implican, el registro manual de los datos y el evidente error humano que se incorpora a la información generada. Una alternativa a la experimentación con fines docentes ha sido la simulación computacional de procesos (Saavedra y col., 2008).

9) Velocidad de secado.

Entendemos por velocidad de secado a la cantidad de agua que se consigue eliminar por unidad de tiempo:

$$m_w = m_a \Delta X = m_s \Delta W \cdot S$$

Siendo m_w la cantidad de agua, m_s la masa de producto seco, m_a la masa de aire seco, ΔW_s la humedad perdida por el producto en base seca y ΔX la humedad ganada por cada kg de aire seco

En muchas ocasiones esta velocidad es una velocidad específica, referida a la unidad de masa de sólido seco ó a la superficie de producto:

$$V = \frac{\dot{m}_w}{m_s} = \frac{\Delta W_s}{t} \quad \text{kg agua/(s kg sólido seco)}$$

$$V_A = \frac{\dot{m}_w}{A} = \dot{m}_s \frac{\Delta W_s}{A} \quad \text{kg agua/(s m}^2\text{)}$$

La velocidad de secado vendrá determinada por multitud de factores, siendo el más importante la transmisión de calor, por convección, entre el aire y el producto que se está secando. Si conocemos el coeficiente de convección, $h = (W m^2 °C^{-1})$, es posible calcular la velocidad de secado suponiendo que el producto permanece a temperatura constante T_h , de la siguiente forma:

$$\dot{Q} = Q/t = h A \Delta T = \dot{m}_w L_v(T_h)$$

Donde ΔT es la diferencia de temperaturas entre el aire que entra y el producto a secar.

Si queremos calcular la velocidad por unidad de área:

La velocidad de secado no es la misma durante todo el proceso, es decir, que la eliminación de agua se realiza en una serie de etapas en las que la velocidad de secado es diferente. La representación gráfica de la velocidad de secado frente a la humedad del producto o frente al tiempo se denomina “curvas de secado”, y serán diferentes según sea el tipo de producto a deshidratar. Generalmente la forma de las curvas es complicada y deben obtenerse experimentalmente. Desde el punto de vista teórico pueden realizarse algunos cálculos aproximados en alguna de las etapas anteriormente mencionadas.

Para el cálculo de tiempo de secado (t_c) utilizaremos la siguiente formula:

A velocidad constante; V_c (por unidad de masa de sólido seco):

$$t_c = m_s (W_0 - W_c) / m_w = (W_0 - W_c) / V_c$$

A velocidad constantemente decreciente:

$$t_d = (W_c / V_c) \ln (W_c / W_1)$$

Donde, en ambos casos, las humedades W están expresadas en base seca (Cachadiña, 2006).

10) Balances de materia y energía

En el proceso de secado se supone que toda el agua que sale del producto pasa al aire, entonces debe cumplirse:

Disminución de agua en el producto = Aumento de agua en el aire

$$m_w = m_s \Delta W_s = m_a \Delta X$$

. En esta ecuación también pueden utilizarse caudales en lugar de masas.

- Balance de energía.

Para establecer el balance de energía hay que realizar una serie de suposiciones:

Suponemos que, en principio y siempre que no existan pérdidas de energía, la temperatura de termómetro de bulbo húmedo permanece constante durante el proceso de secado. Esto significa que la variación de entalpía específica será muy pequeña y positiva, pero no exactamente cero (como sería si el proceso fuese estrictamente isoentálpico).

- La mayor parte de la energía que aporta el aire se emplea en la evaporación del agua contenida en el sólido. Esto quiere decir, que se supone que el producto a secar se mantiene siempre, o al menos cuando la velocidad de secado es constante, a la temperatura del termómetro de bulbo húmedo del aire, T_h .

En estas condiciones debe cumplirse el siguiente balance de energía:

$$m_a(\Delta h^*_2 - \Delta h^*_1) \approx m_s \Delta W_s c_w(T_h) T_h$$

Donde $(\Delta h^*_2 - \Delta h^*_1)$ es la variación de entalpía específica que sufre el aire, $(m_s \Delta W_s) = m_w$ es el agua evaporada del sólido e incorporada al aire, y $c_w(T_h)$ es el calor específico del agua líquida a la temperatura del termómetro de bulbo húmedo.

Resolviendo el sistema de ecuaciones formado por el balance de materia y por el de energía, encontramos, por ejemplo:

* Cantidad de sólido seco y la humedad de aire que sale, sabiendo la cantidad de aire seco que entra.

* Cantidad de aire necesario y cantidad de producto seco sabiendo la humedad del aire que sale.

Estos cálculos se simplifican mucho si se utiliza el diagrama psicrométrico, en el que el proceso de secado sigue la línea de T_h constante, siendo sumamente sencillo encontrar todos los términos del balance de energía una vez que se conoce el balance de masas. Así, si se utiliza el diagrama psicrométrico, y se obtiene el calor específico del agua mediante una tabla, no es necesario resolver el sistema de ecuaciones, y el balance de energía se utiliza solamente para comprobar si se cumple (al menos aproximadamente) la suposición de que el sólido a secar no cambia su temperatura durante el secado y que ésta es precisamente T_h .

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores, puede definirse un rendimiento térmico (R_t) del proceso de secado, como el cociente (en %) entre el calor necesario para la vaporización del agua contenida en el producto a una temperatura aproximadamente igual a la del termómetro de bulbo húmedo, y la entalpía del aire al comienzo del proceso de secado.

$$R_t = \frac{m_w L_v (T_h)}{m_a \Delta h_1}$$

Este rendimiento nos indica que porcentaje de la energía inicial del aire se ha empleado en eliminar el agua, y suele situarse en torno al 40%-60% (Cachadiña, 2006).

CAPITULO III

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SECADOS

La conservación son los procedimientos a que son sometidos los alimentos con el objetivo de mantener su calidad y las condiciones higiénico-sanitarias para ser consumidos durante un tiempo preestablecido. En general los métodos de conservación pueden dividirse en tres grandes grupos: físicos, químicos y mixtos (Lorenzo y col., 2005).

Los equipos de secados pueden ser clasificados de manera general, en función del sistema de eliminación de agua aplicado como; (a) secado térmico, (b) deshidratación osmótica, y (c) secado mecánico. En el secado térmico se usa un gas o un medio inerte para eliminar el agua del producto, por lo que se puede dividir en tres tipos (a) secado por aire, (b) secado en atmosfera con bajo contenido de aire, y (c) secado en atmosfera modificada. En la deshidratación osmótica se usan solventes o disoluciones para eliminar el agua, mientras que en el secado mecánico se usa una fuerza física. En el secado mecánico se aplica presión o una fuerza centrífuga al producto mientras una barrera (por ejemplo una membrana) mantiene separadas las fases sólidas y líquidas.

Los procesos de secado se clasifican también de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua:

1) en la primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire;

2) en el 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 pueden usarse bajas temperaturas con vacío para ciertos materiales que se decoloran o se descomponen de temperaturas altas);

3) en la liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado.

Factores que se deben tomar en cuenta a la hora de seleccionar un proceso de secado

- ❖ El tipo de producto a secar
- ❖ Las propiedades deseadas en el producto acabado
- ❖ La susceptibilidad del producto al calor
- ❖ Los pre-tratamientos requeridos.
- ❖ El capital al invertir y los costos del procesado.

Los factores ambientales (Shafiur y Conrad, 2003).

Desde el punto de vista comercial una importante ventaja de utilizar esta técnica, es que al convertir un alimento fresco en uno procesado (deshidratado) se añade valor agregado a la materia prima utilizada. Además se reducen los costos de transporte, distribución y almacenaje debido a la reducción de peso y volumen del producto en fresco (Marín, y col., 2006).

Se usan muchos tipos de secadores en la deshidratación de alimentos, la selección de un tipo en particular es guiada por la naturaleza del producto que va a ser secado, así como la forma deseada del producto terminado, la economía y las condiciones de operación.

Los tipos de secadores y los productos en los que se utilizan son los siguientes:

- ❖ **Secador de tambor:** leche, ciertos jugos de hortalizas, arándanos y plátanos.

- ❖ **Secadores de aspersión:** huevos enteros, yema de huevos, albumina de la sangre y leche.
- ❖ **Cámara de secado al vacío:** producción limitada de ciertos alimentos.
- ❖ **Secador al vacío continuo:** frutas y hortalizas.
- ❖ **Secador de banda continua** (atmosférico): hortalizas.
- ❖ **Secador por liofilización:** carnes (Desrosier, 1990).

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y PROCESOS DE SECADOS UTILIZADOS EN ALIMENTOS

- 1.- Secado de horno
- 2.- Secado de charolas
- 3.- Secado de tambor
- 4.- Secado rotatorio
- 5.- Secaderos de túnel
- 6.- Secado por aspersión
- 7.- Secado en lecho fluidizado
- 8.- Liofilización
- 9.- Deshidratación osmótica
- 10.- Secado por microondas

1.- HORNOS SECADORES

Son construcciones de dos pisos por lo general. El piso de la parte superior está compuesto de tablillas juntas sobre las cuales es rociado el alimento. El gas caliente es producido por un horno o estufa sobre el primer piso y pasa a través del producto por convección natural o con la ayuda de un ventilador. El material volteado y agitado frecuentemente se requiere un tiempo relativamente largo para el secado. Los hornos secadores son usados para el secado de productos tales como tajadas de manzanas, lúpulos y ocasionalmente para patatas.

La velocidad de secado es afectada por las propiedades del aire de secado y las propiedades del sólido. Las propiedades importantes del aire son, temperatura, humedad y velocidad. Las propiedades del sólido a considerar son el tipo y variedad de la hortaliza y fruta el contenido de humedad libre, el método de preparación anterior al secado, la forma y tamaño de la pieza. (Thompson, 1992).

Campo de aplicación del secado por horno

El equipo de secado con horno de aire caliente es adecuado para secado por deshidratación de materia prima en el campo de productos: farmacéuticos, químicos, alimentos, agricultura subsidiaria, productos acuáticos, industria de la iluminación e industria de materiales pesados. Alguno de los productos son usados para producir medicina tradicional c, extractos herbales, tabletas, gránulos, polvo, empaque de botellas, pigmentos, vegetales deshidratados, frutas secas y

melón, resina plástica, elementos electrónicos y barniz de hornear (Thompson, 1992).

Ventajas

- 1- Secado homogéneo del producto
- 2- Control de temperatura eficiente que reduce las mermas durante el proceso
- 3- Menor consumo de combustible ya que se controla la temperatura dentro de la cámara realizando un control directamente sobre el quemador.

Características del equipo del secado por horno

1. El aire caliente se hace circular dentro del horno del equipo de secado para asegurar una mayor eficiencia y ahorro de energía a la hora de usar el equipo.
2. Una mejor ventilación de la secadora y el distribuidor de aire ajustable proporciona un secado uniforme. Las fuentes de calor que pueden ser utilizados son el vapor, electricidad, agua caliente, entre otros.
3. El equipo de secado con horno de aire caliente tiene un ruido bajo y operación confiable, la temperatura puede estar controlada automáticamente.
4. Con un amplio campo de aplicaciones, se puede utilizar en muchos tipos de materia prima, por lo que es un secador integral (Web 3).



Fig.2; horno secador, fuente:(Web 4).

2- SECADOR DE CABINA O BANDEJA.

El secador consiste de una cámara en la cual pueden ser colocadas bandejas con el producto. En los secadores grandes son colocadas como vagonetas para facilitar su manejo, en los secadores pequeños las charolas pueden ponerse sobre soportes permanentes en el secador. El aire es impelido por un ventilador y pasa por un calentador y después a través de las charolas del material que se está secando.

El secador de cabina es por lo general, el menos caro de construir, es fácil de mantener y bastante flexible, normalmente es usado en la deshidratación de hortalizas y frutas a pequeñas escalas y temporales en laboratorios (Grau y col., 2001).

Características del secado por bandejas.

El proceso de secado consiste en la remoción de humedad de una sustancia, involucrando los fenómenos de transferencia de calor y masa, en forma simultánea. La transferencia de masa ocurre cuando el sólido pierde humedad y la transferencia de calor se verifica cuando el medio ambiente (aire) entrega calor al sólido, el que se emplea en la evaporación del agua que se va incorporando al aire a medida que transcurre el proceso de secado. Una de las formas usuales de

secado consiste en hacer circular una corriente de aire caliente por sobre el material a secar (Grau y col., 2001.)

El equipo es un secador de material dispuesto en 4 bandejas, el que permite controlar la velocidad y la temperatura del flujo de aire, el cual es impulsado por un termo ventilador. Además se cuenta con una balanza digital que permite registrar en el tiempo la masa del sólido, y por lo tanto la pérdida de humedad. La velocidad del aire se determina con velocímetro digital de paletas y con un sigrómetro se determinan las temperaturas del flujo de aire (temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmeda). Por lo tanto es posible obtener la velocidad de secado, la cantidad de agua evaporada y la humedad relativa del aire (Web 5).

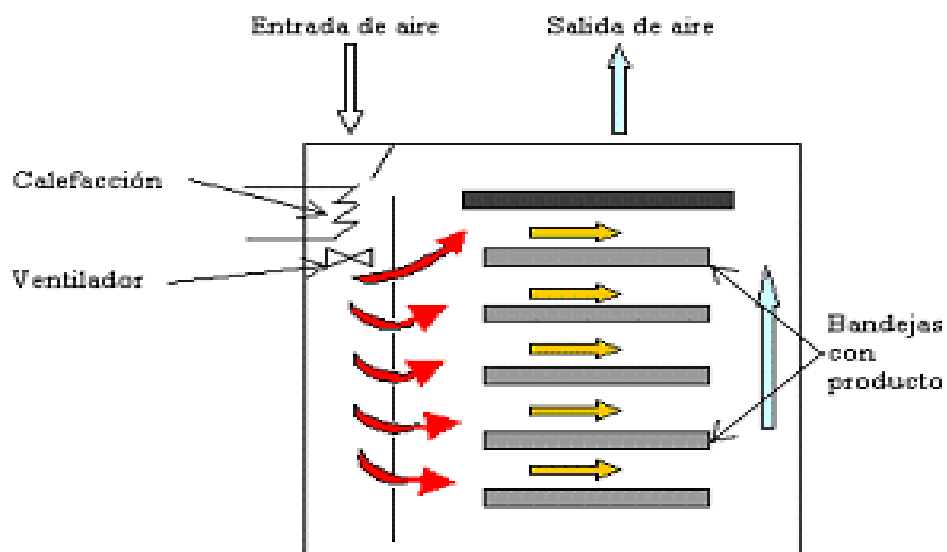


Fig.3; Secador de bandeja (Web 5).

3- SECADOR DE TAMBOR

Las secadoras de tambor o de rodillos fueron desarrolladas al inicio del siglo XX. Eran utilizadas para secar prácticamente todos los materiales líquidos para alimentos, antes de que empezara a existir el secado por rocío (Spray Drying). Hoy en día, las secadoras de tambor o de rodillos son utilizadas sobre todo en la industria alimenticia para secar una variedad de productos como lácteos, alimentos para bebé, cereales para el desayuno, pulpas de frutas y vegetales, puré de papa, almidones cocidos y levaduras usadas.

Un par de ejemplos muy conocidos del tipo de producto producido en éste tipo de maquinaria es el cereal para bebé en forma de hojuela o el puré de papa en forma de hojuela. El secado mediante tambores o rodillos es uno de los métodos de secado más eficientes en términos de consumo de energía y, es muy efectivo para secar líquidos con una alta viscosidad o alimentos en forma de puré.

En una operación de secado, el material en forma de líquido, solución acuosa o puré es aplicado como una capa ligera sobre la superficie exterior de un par de tambores que se encuentran girando y que están siendo calentados por dentro mediante vapor. Después de aproximadamente tres cuartos de revolución, a partir del punto desde donde se suministra la solución acuosa, el producto se encuentra ya seco y es removido mediante una cuchilla estática. El producto seco es recolectado y transferido, normalmente de manera neumática, a un molino para reducir el tamaño de su partícula y poder ser empacado. Para poder asegurar un

producto que sea consistente y que cumpla con las necesidades del cliente, se requiere desarrollar un balance muy delicado entre la tasa de alimentación de la solución, la velocidad de rotación de los rodillos, el nivel de presión de vapor que alimenta a los rodillos y lo que suele definirse como el NIP o la separación entre los rodillos, que es por donde pasa el producto

Descripción del sistema de secado por tambor de rodillos

Una secadora de tambor consiste de uno o dos tambores o cilindros huecos, fabricados en hierro colado de alta calidad, acero fabricado o acero inoxidable, que se encuentran montados de manera horizontal, junto con una estructura de soporte, un sistema de alimentación de producto, una cuchilla y sus componentes auxiliares. Una secadora de tambor o de rodillos típica puede tener, ya sea un o dos tambores o rodillos, con rodillos de aplicación más pequeños. El diámetro típico de las secadoras utilizadas en el procesamiento de alimentos varía desde 24" (60 cm.) hasta 60" (152 cm.) de diámetro y con longitudes que van desde 24" (60 cm.) hasta 144" (365 cm.), (Fernández, 2010).

En esta operación se calienta mediante vapor presurizado a 120°C – 170°C en tambores huecos de acero que giran lentamente, presentan velocidades de secado y eficiencia energética altas. Son apropiadas para suspensiones de partículas demasiado grandes para el secado por aspersion; generalmente el secado de tambor se aplica a alimentos viscosos y semisólidos, como papas cocidas.

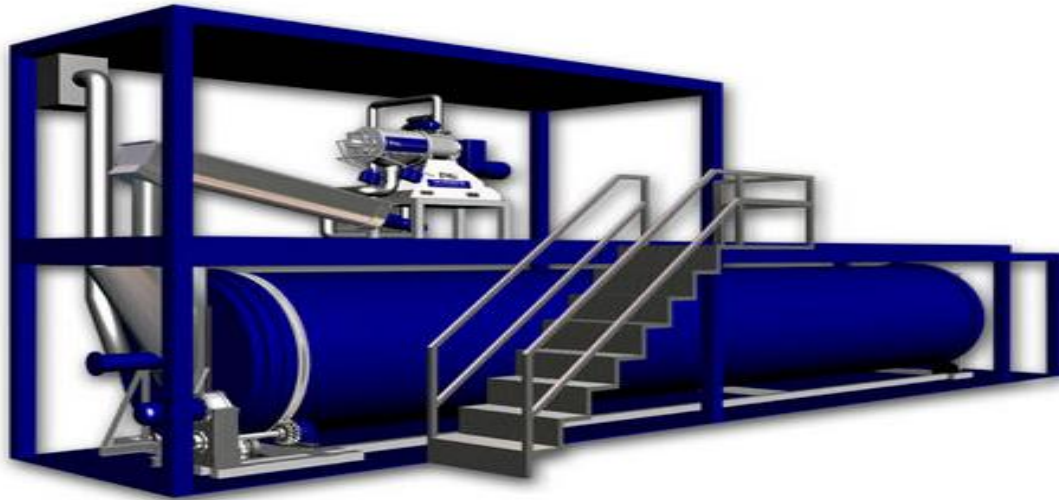


Fig.4: secadora de tambor (Web 6).

Características del equipo de tambor

- Presión de secado ambiental: los tambores podrían estar encerrados en cámaras de modo que sea posible crear un vacío mientras se efectúa el secado, o el equipo podría operarse en presión atmosférica.
- El número de tambores del proceso podría ser uno o dos.
- El alimento al aplicarse al tambor se hace a través de varios procedimientos. se tienen los siguientes:
 - *el tambor en rotación se sumerge en un estanque del material.
 - *se alimenta material líquido en el espacio entre los tambores.
 - *el material se rocía en la superficie del tambor.
 - *el líquido se aplica con un rodillo.

Un secador de tambor consta de un tambor de metal calentado, como se indica en la figura siguiente en cuyo exterior se evapora una capa delgada de un líquido o una suspensión hasta que se seca. El sólido seco final se le raspa al tambor, que gira lentamente



Fig.5: secado de tambor (Fernández, 2010).

Transferencia de masa en el equipo de tambor

El líquido o solución se calienta inicialmente hasta su punto de ebullición; entonces se desprende la humedad por ebullición a temperatura constante, si se precipita un soluto de una solución a concentración constante, o a temperaturas más elevadas, si el cambio de concentración es gradual; finalmente, el sólido seco se calienta hasta que posea una temperatura próxima a la temperatura de la superficie del tambor. En el caso de lechadas o pastas de sólidos insolubles, la temperatura permanece básicamente constante en el punto de ebullición del disolvente mientras el sólido esté completamente húmedo; aumenta únicamente durante las últimas etapas del secado.

Con frecuencia, los vapores se recogen en una campana con ventilación construida directamente sobre el secador. El poder de los diferentes lodos, soluciones y pastas para adherirse a un tambor calentado varía considerablemente; en consecuencia, se han buscado diferentes métodos para alimentar el tambor. A menudo, las suspensiones de sólidos dispersos en líquidos

se alimentan por el fondo del tambor en una charola inclinada; el material no adhesivo excedente se recircula al recipiente de alimentación. Las gomas vegetales y sustancias similares pueden bombearse contra la superficie del fondo del tambor (Web 7).

Los secadores de tambor son adecuados para procesar suspensiones o pastas de sólidos finos, así como soluciones verdaderas. El tambor funciona en parte como evaporador y en parte como secador. Otras variaciones del secador de tambor son los tambores rotatorios dobles con alimentación por inmersión, o bien con alimentación superior en el espacio entre los dos tambores. El puré de papa se procesa en secadores de tambor para obtener el material en forma de escamas.

Ventajas del secador por tambor

1. Método rápido con rápida transferencia de calor y masa
2. Equipo compacto y de menor tamaño que un secador por vaporización
3. El tambor se puede incluir en una cubierta de vacío que permite reducir la temperatura de secado

Desventajas:

Es necesario imponer un control cuidadoso de la velocidad de alimentación, del grosor de la película, la velocidad de giro del tambor y la temperatura

Variables consideradas en el secado de tambor

Método de operación, por lotes o continuo.

El equipo por lotes, o semilotes, se opera intermitente o cíclicamente en condiciones 'de estado no estacionario: el secador se carga con la sustancia, que permanece en el equipo hasta que se seca; entonces, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. Los secadores continuos generalmente se operan en estado estacionario.

Método de obtención del calor necesario para la evaporación de la humedad.

En *los secadores directos*, el calor se obtiene completamente por contacto directo de la sustancia con el gas caliente en el cual tiene lugar la evaporación. En los secadores *indirectos*, el calor se obtiene independientemente del gas que se utiliza para acarrear la humedad evaporada. Por ejemplo, el calor puede obtenerse por conducción a través de una pared metálica en contacto con la sustancia o, con menos frecuencia, por exposición de la sustancia a radiación infrarroja o calentamiento dieléctrico. En este último caso, el calor se genera dentro del sólido mediante un campo eléctrico de alta frecuencia.

Naturaleza de la sustancia que se va a secar

La sustancia puede ser un sólido rígido como madera o triplay, un material flexible como tela o papel, un sólido granular, como una masa de cristales, una pasta ligera o un lodo ligero, o una solución. Si es un sólido, puede ser frágil o fuerte. La forma física de la sustancia y los diferentes métodos de manejo necesarios tienen tal vez, la mayor influencia sobre el secador que se va a utilizar.

Estas variables se deben de tomar en cuenta para tener condiciones óptimas.

- Contenido de sólidos de los alimentos que podrían ser procesados por evaporación antes de ser aplicados sobre la superficie del tambor.
- Los alimentos podrían estar recalentados.
- La velocidad de rotación del tambor podría ajustarse para regular el tiempo de resistencia.
- La temperatura de la superficie del tambor.

- La rugosidad de la superficie del tabor.
- Las cuchillas flexibles pueden moverse para que se ajusten de manera segura contra la superficie del tambor.
- Además el suministro de vapor debe ser de la mejor calidad (100%)
- La velocidad de transferencia de calor durante esta operación unitaria puede evaluarse cuando se conoce la resistencia térmica entre la cámara del tambor y la película desecada.

La velocidad global del secado se expresa en la ecuación número # 1:

$$1) \frac{dw}{dt} = \frac{U\Delta T}{\Delta HFG}$$

Dónde:

A: área superficial del tambor (m²)

U: coeficiente global de transferencia de calor (w/m²°C)

ΔT : diferencia media de temperatura entre la superficie interna del tambor y la película secada.

ΔHFG : calor latente de vaporización para la eliminación de humedad en el producto

Ejemplo de secadores de tambor

Consta de un tambor de metal calentado, como se observa en la figura 3, en las paredes se evapora el líquido, mientras una cuchilla metálica, raspa lentamente el

sólido, para que descienda por el tambor, hasta la salida. Este tipo de secadores son típicos del trabajo con pastas, suspensiones, y soluciones. El tambor resulta como un híbrido entre un secador y un evaporador.

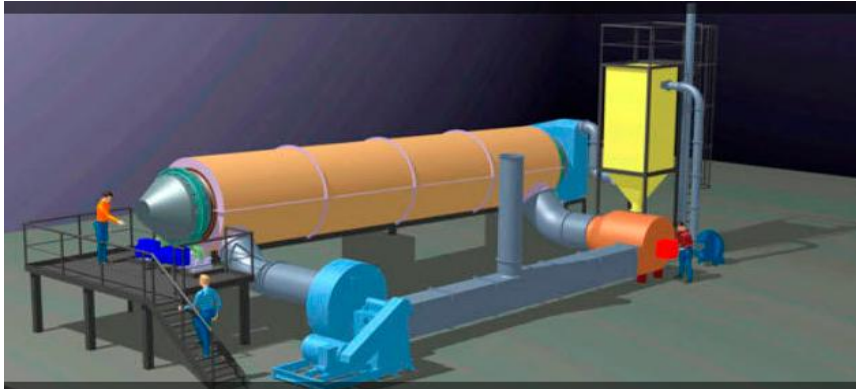


Fig. 6; secador de tambor (Web 8).

4.- SECADOR ROTATORIO O ROTATIVO

El uso de este equipo constituye uno de los procesos más utilizados para el secado de una amplia gama de materiales a nivel industrial, esto por ser un método rápido y de bajo costo unitario cuando se trata de grandes cantidades de material. En el secador rotatorio, el flujo de aire puede ser tanto en paralelo como a contracorriente, el material húmedo está en continuo movimiento gracias a la rotación del secador, dejándolo caer a través de una corriente de aire caliente que circula a lo largo del tambor del secador.

Estos equipos son muy adecuados para el secado de productos granulares, la acción de volcado es beneficiosa, ya que se forma una cortina de arena expuesta perpendicular en contacto directo con el aire caliente, con lo cual se facilita la salida de la humedad desde el interior de las partículas.

Este tipo de secadores se pueden diseñar para tiempos de secado desde unos pocos cientos de kilogramos por hora hasta alcanzar las 200 T/h.

En la industria química su mayor uso es el secado de sales fertilizantes, como el sulfato nitrato y fosfato de amonio, sales potásicas y fertilizantes, Arenas, cemento, azúcar etc.

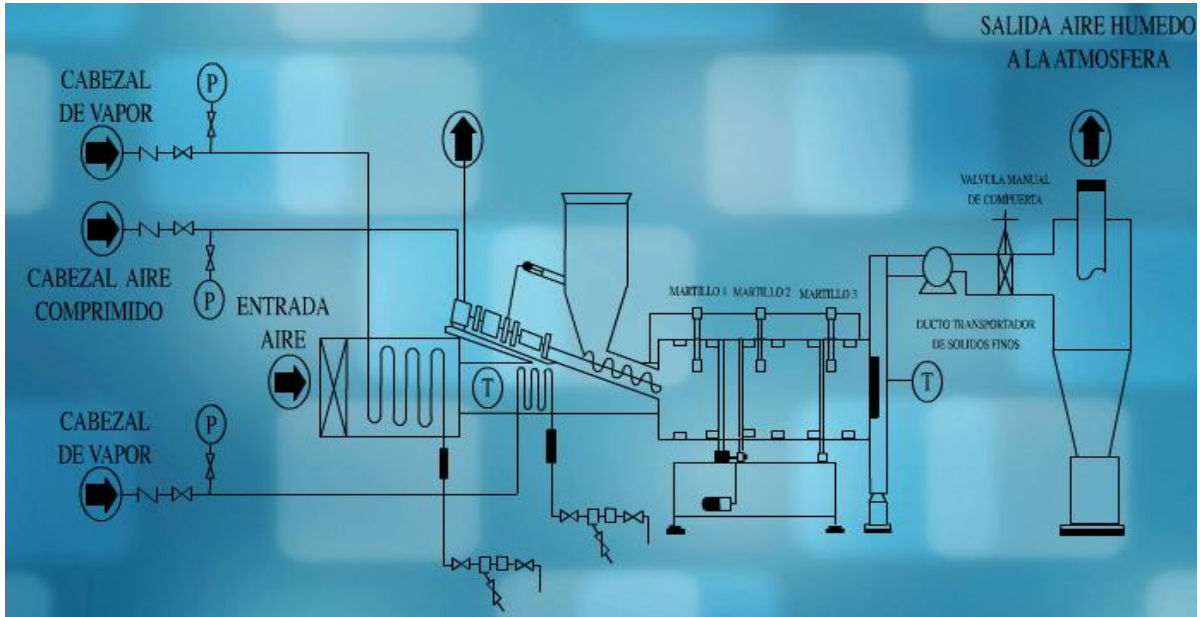


Fig.7; Secador rotatorio (Web 9).

Ventajas

En la industria nitrato y fosfato de amonio, sales potásicas y fertilizantes. Son muy adecuados para el química su mayor uso es el secado de sales fertilizantes, como el sulfato secado de productos granulares, con buenas características de flujo que requieren tiempos de secado moderados. Pueden ser adaptados para manipular materiales algo pegajosos mediante dispositivos especiales que disgreguen las costras sólidas formadas. De hecho, la acción de volcado es beneficiosa dentro de ciertos límites para todos los productos, pues se rompe la corteza semipermeable que se forma en la superficie de las partículas que se secan, con lo cual se facilita la salida de la humedad desde el interior de las partículas. Además se adecuan bastante bien para materiales termosensibles, en los casos en que una restricción en la temperatura de secado no implique que el tiempo de secado tenga que ser muy prolongado.

Desventajas

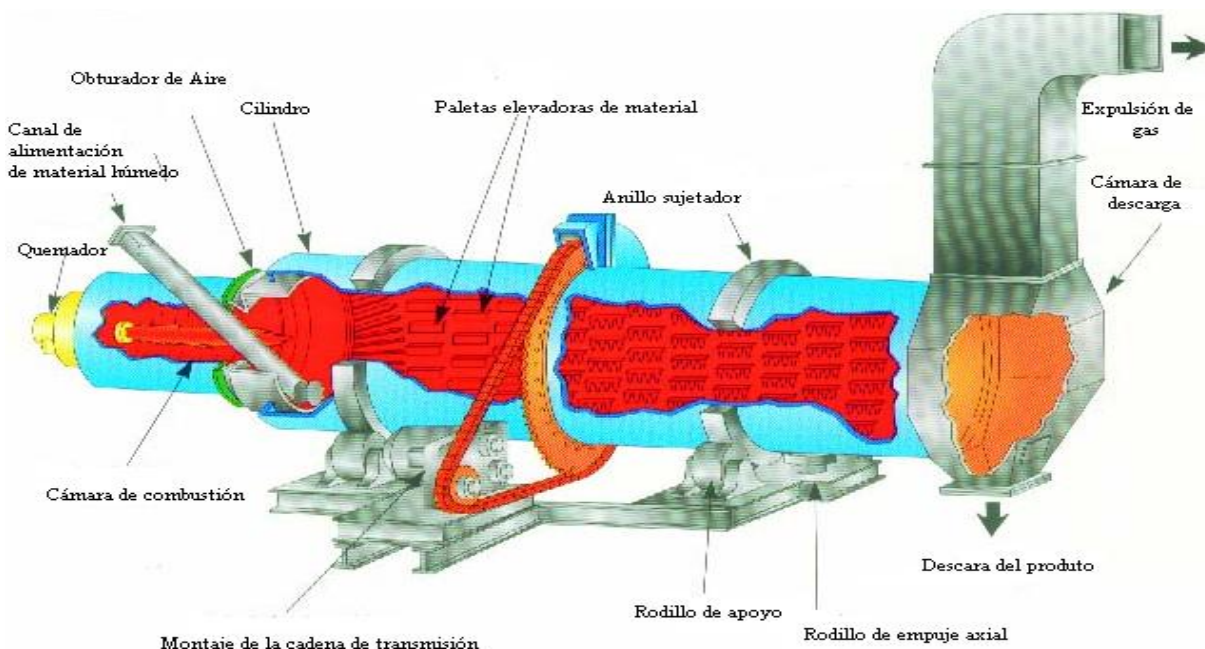
No son adecuados para las siguientes aplicaciones: secado de barros, suspensiones, materiales muy pegajosos y materiales que requieran más de una hora para el secado. Además, presentan limitaciones en el secado de materiales polvorientos o livianos, los cuales son arrastrados fácilmente por la corriente gaseosa. En estos casos deben tomarse en consideración los secadores rotatorios indirectos, como los más adecuados. (Riveros, 2008)

Tipos de secadores rotatorios

I.- Calor Indirecto:

Los secadores de calor indirecto son más aplicables a materiales que son sensibles al calor y también son afectados por el contacto directo con gases de combustión. En este equipo, el material entra en contacto sólo con la superficie caliente del cilindro, que es calentada externamente con gases de combustión. El material húmedo se introduce en el cilindro rotatorio, insertado en una cámara estacionaria. Los gases de combustión calientes pasan a través del espacio anular. La transferencia de calor se realiza principalmente por conducción.

II.- Calor directo: Los secadores de calor directo son más aplicables a materiales en formas granulares, comprimidas o de extrusión, que no son sensibles al calor y tampoco son afectados por el contacto directo con gases de combustión. Los materiales pueden ser secados en paralelo o contra la corriente del gas caliente. Los secadores de flujo paralelo son ideales para el secado rápido, eficiente y a



baja temperatura de materiales que son más sensibles a las altas temperaturas, baja densidad, pegajosos y no adquieren fluidez fácilmente. La transferencia de calor se efectúa predominantemente por convección.

Fig.8; Secador rotatorio de calor directo, (Riveros, 2008)

III.- Inyección de Vapor en Tubos:

Los secadores de inyección de vapor en tubos, son más aplicables a materiales sensibles al calor y a contaminación con gases. Una de las aplicaciones comunes está en los productos alimenticios y agrícolas. Existen tubos calentados con vapor y organizados coaxialmente en filas a lo largo del secador. La transferencia de calor se lleva a cabo esencialmente por conducción. (Riveros, 2008).

4.- SECADORES DE TÚNEL.

Estos secadores son de uso más común para la deshidratación de frutas y hortalizas. Consisten de túneles de 30 a 50 pies de longitud con vagonetas en su interior que contienen las charolas donde es colocado el alimento. El aire caliente es impelido a través de las charolas. La producción es programada de tal manera que cuando es sacada de un extremo del secador una vagoneta con producto terminado y en el otro extremo una vagoneta con producto fresco es puesta.

El movimiento del aire puede ser en la misma dirección que el movimiento del producto (flujo paralelo). Esto tiene la ventaja de que el aire más caliente entra en contacto con el producto más húmedo, por lo tanto puede utilizarse aire más caliente. Por otra parte el aire en el extremo de salida se vuelve más frío y más cargado de humedad y el producto final puede no estar seco.

El movimiento del aire puede ser en dirección opuesta al flujo del material. Aquí el aire más caliente entra primero en contacto con el producto más seco, de tal manera que puede obtenerse un producto muy seco. Debe tenerse cuidado de no

sobrecargar el secador ya que la carga de humedad puede suspenderse mucho tiempo en el aire caliente y húmedo sin que se haya secado en ningún grado, esto podría dar tiempo para la descomposición del producto, al igual no debe dejarse el producto seco mucho tiempo en el secador, ya que al entrar en contacto con el aire caliente puede sobrecalentarse. En algunos casos son combinados los dos tipos de túneles.

En la operación de estos túneles las condiciones de secado no son constantes.

El aire impulsado por ventiladores a través de un cambiador de calor entra en el túnel circulando a través de las vagonetas. Se suelen utilizar velocidades del aire comprendidas entre 2 y 7 m/s.

Estos secaderos se clasifican de acuerdo con las direcciones relativas del movimiento fluido sólido en secaderos en paralelo y secaderos en contracorriente. En el primer caso el aire caliente y seco se pone en contacto con el material frío y húmedo por lo que se alcanzan altas velocidades de evaporación que originan un producto final poroso y de baja densidad debido a la pequeña contracción que tiene lugar.

En el secado en contracorriente, la fuerza impulsora y por tanto la velocidad de secado, varía mucho más suavemente a lo largo del túnel y en general aumenta a medida que progresa el secado. Estas circunstancias determinan frecuentemente una gran contracción del material originándose un producto de alta densidad. Sin embargo las condiciones en el extremo seco del túnel son tales que permiten alcanzar pequeños valores de la humedad final, si bien debe controlarse adecuadamente la temperatura de entrada del aire, ya que se va a poner en contacto con un producto prácticamente seco que puede recalentarse con facilidad.

Los secaderos con evacuación central del aire, se utilizan para evitar los inconvenientes de los secaderos anteriores. A menudo se combinan empleando primero un flujo en paralelo, con aire más caliente y a mayor velocidad y a

continuación un flujo en contracorriente con aire más frío y seco. De esta forma se acortan los tiempos de secado y se aumenta la capacidad de producción, siendo más fácil el control de las condiciones.

Secaderos de flujo transversal. La dirección del aire es perpendicular al movimiento del alimento. Las condiciones de secado se controlan más fácilmente porque existen varios calentadores intercambiadores de calor y el tiempo de procesado se reduce. El contenido de humedad del producto final es más homogéneo pero el coste del equipo es superior.

Características de los secadores de túnel

- 1) Permite el secado de frutas y hortalizas, troceados, de forma semicontinua grandes capacidades de producción.
- 2) Se alcanzan grandes velocidades de evaporación en el extremo húmedo del túnel, por lo que se pueden utilizar temperaturas del aire, relativamente elevadas sin riesgos de recalentar el producto.
- 3) A medida que el producto avanza en el túnel entra en contacto con aire más frío y más húmedo. Decae con ello, la velocidad de secado, con el correspondiente minimizar la deterioración por el valor del producto.
- 4) Existen túneles de cinta transportadora, túnel contra corriente, túnel en paralelo, secadores continuos de túnel.

Este tipo de secador está formado por un túnel, por el cual pasan bandejas o carretillas con el material a secar, dentro del túnel, se hace fluir, generalmente a contracorriente, aire caliente, el cual sirve para secar los sólidos. Este tipo de secador es típico de la industria alimenticia.

A diferencia de los secadores de bandejas, en este caso, el área superficial, no es tan importante, debido a que la velocidad del aire y el tiempo de estadía dentro del secador pueden variar en un rango muy amplio, por ende, estos secadores son muy utilizados para materiales grandes.

Este tipo de secador consta de una cabina equipada con rieles para mover las cajoneras a lo largo de la cámara de secado del cual un sistema de calefacción calienta el aire que circula a través de las cajoneras (Web 10).

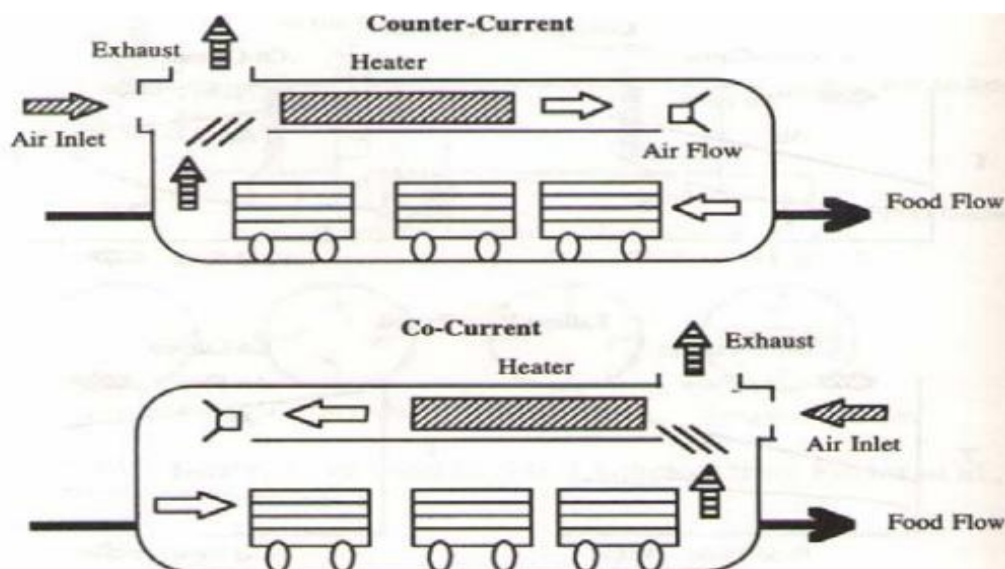
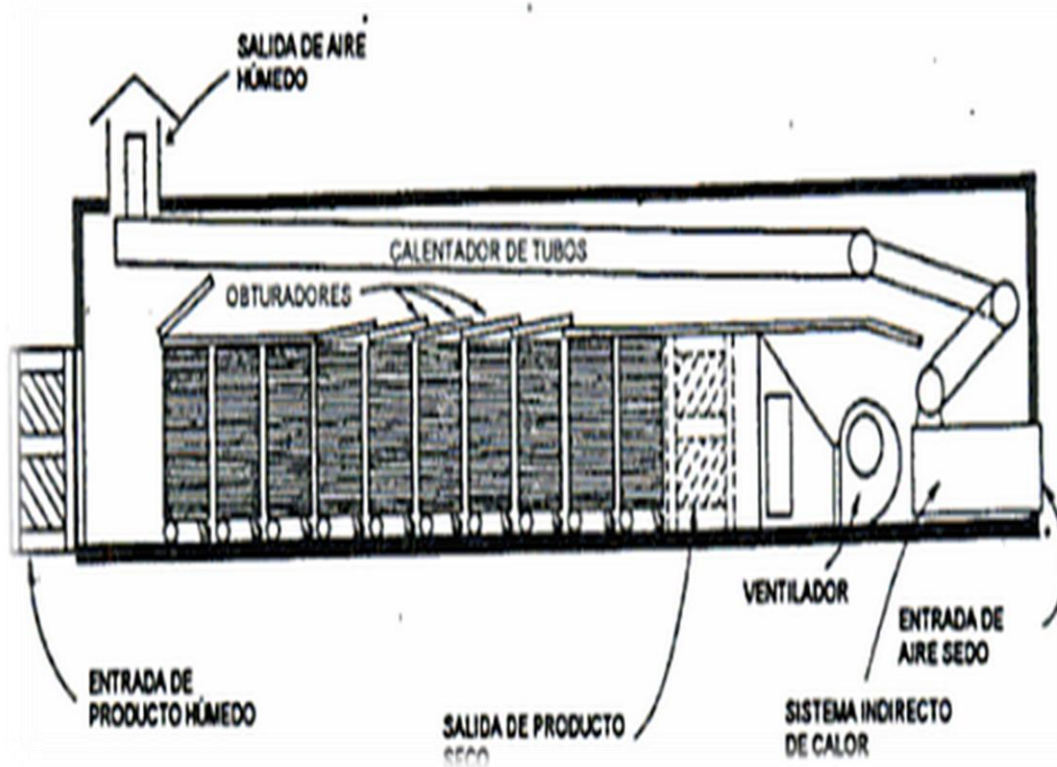


Fig.9; secador de túnel, fuente:(Grau y col., 2001.)

6- SECADO POR ASPERSIÓN

El secado por aspersión se utiliza desde productos farmacéuticos hasta alimentos y detergentes. Los materiales de la alimentación se hallan por lo general en forma de una solución líquida, capaz de ser dispersada en forma de rocío. Estas gotitas proporcionan una extensa área superficial para la transferencia de calor y de masa. Este fluido es atomizado o dispersado como gotitas finas que se ponen en contacto con un flujo de aire o gas calientes. El enfriamiento por evaporación y el tiempo corto de residencia mantiene una temperatura baja del producto esto hace al secado ideal para secar sustancias termolábiles como enzimas, plasmas sanguíneos y proteínas de la leche. Las pérdidas de calor sensible a partir de aire caliente proporciona el calor latente para evaporar el líquido del producto (Cortés, 2009).

Tanto el modelado como el diseño y la optimización de secaderos para alimentos de relativamente alto contenido de humedad requieren la formulación de ecuaciones que representen el proceso de deshidratación en forma realista, particularmente los balances de materia y energía. Para resolver los mencionados balances se deben considerar los cambios de volumen y de área superficial de las partículas individuales y la velocidad con que ocurren estos cambios en términos de las variables de operación del sistema. (Márquez y Michelis, 2008)

El proceso se caracteriza en pulverizar el fluido dentro de una cámara sometida a una corriente controlada de aire caliente. Este fluido es atomizado en millones de microgotas individuales mediante un disco rotativo o boquilla de pulverización. A través de este proceso el área de la superficie de contacto del producto pulverizado se aumenta enormemente y cuando se encuentra dentro de la cámara con la corriente de aire caliente de secado produce la vaporización rápida del solvente del producto, generalmente agua, provocando absorción en el centro de cada microgota donde se encuentra el sólido, que seca suavemente sin gran choque térmico, transformándose en polvo y terminando el proceso con la colecta del mismo (Web 11).

Existe una gama muy amplia de productos que requieren el uso del sistema de secado por atomización, que mantiene las propiedades físico-químicas de los productos y que en algunos casos llega a mejorar esas propiedades. A través de una solución, emulsión, suspensión o pasta, es enorme la diversidad de productos que se pueden secar por medio de este sistema en las industrias química y alimenticia. Leche en polvo, jugos, sopas instantáneas, detergentes, etc., son algunos de los ejemplos de conocimiento general.

Mediante este proceso simple y ultrarrápido, se consigue secar los sólidos y sólidos solubles, con alta calidad, preservando las características esenciales de los mismos. Este proceso también ofrece ventajas en la reducción de los pesos y volúmenes (Web 11).

Una prueba realizada de sandía empleados durante el secado por aspersion tuvo un efecto positivo en la retención de compuestos volátiles en el jugo de sandía en polvo, por lo que se comprobó que el secado por aspersion es una buena opción para deshidratar sandía (González y col., 2011).

Ventajas

- Conserva la calidad y las propiedades funcionales del producto.
- Relativa simplicidad y facilidad de regulación del sistema.
- Utilización de energía comparable con la de otros métodos de secado.
- Conservación de la mayoría de los compuestos volátiles.

- Se consigue un alto nivel de homogeneidad en la producción
- Se lleva a cabo en un proceso continuo
- Es un proceso controlado (Desrosier, 1990).

Se encuentra la técnica de secado por aspersion, siendo esta la más importante y utilizada en la industria alimentaria para la Microencapsulación de alimentos (Parra, 2010).

Desventajas

- Alta inversión inicial
- Tamaño de la partícula difícil de controlar.
- Requiere una alimentación que pueda manejarse por medio de bombas.
- Problemas con la recuperación del producto y los polvos. (Desrosier, 1990).

Variables del proceso

- El contenido de sólidos del producto antes del secado.
- El gasto del producto.
- El gasto del aire.
- La temperatura de entrada del aire, por lo general entre 150°C y 210°C.

Características medibles del producto

Densidad global de masa: se mide a través de una probeta graduación el polvo deshidratado asiendo que se asiente de una manera estándar.

Luego se calcula a través de la siguiente formula.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dónde:

ρ = densidad.

m = masa del polvo.

V = volumen del polvo después del asentamiento.

Contenido de humedad: mide el contenido de humedad del producto, se mide pesando una cierta cantidad que se somete a radiación infrarroja para extraer la humedad residual (Desrosier, 1990).

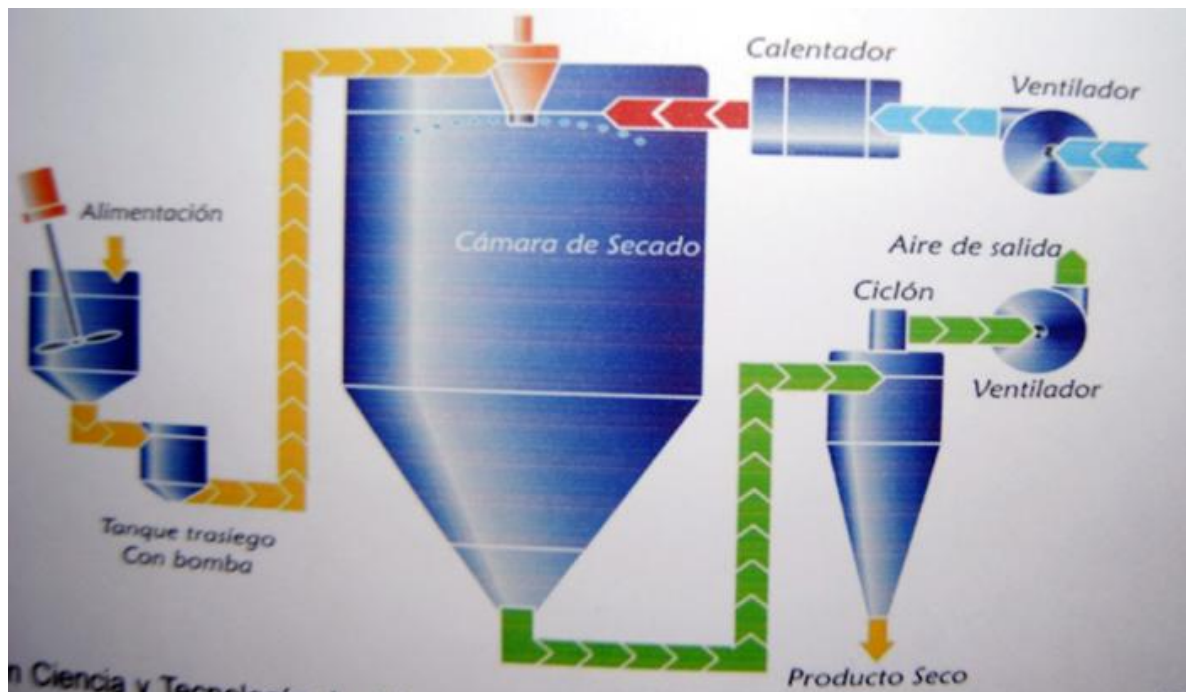


Fig.10. Equipo de secado por aspersión (Web 12).

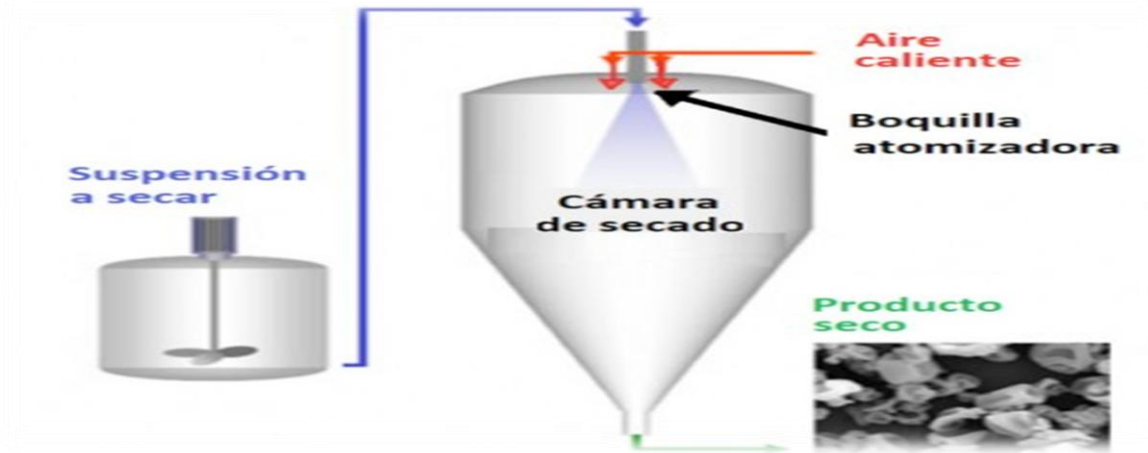


Fig.11. Esquema de un secadero atomizador, (Web 13).

Funcionamiento del proceso de secado por aspersion

Constando de tres etapas básicas, el secado por aspersion comienza con la atomización de un alimento líquido en un spray o finas gotas, el spray entra en contacto con y es suspendido por una corriente de gas caliente, permitiendo la evaporación del líquido y sacando el sólido seco, esencialmente con el mismo tamaño y forma que las gotas atomizadas. Finalmente, de la corriente de gas, el polvo seco es separado y colectado. El gas de secado empleado es tratado para alcanzar los requerimientos ambientales y entonces ser emitido a la atmósfera o, en algunos casos, recirculado al sistema

De manera general, los pasos para el secado por aspersion son los siguientes:

- Se tiene un producto inicial en estado líquido
- El producto inicial entra en contacto con el aire caliente

Se seca hasta el grado que se necesita

- Se recupera el producto final

Todo este proceso se lleva a cabo en una cámara de secado que tiene forma cilíndrica y cuenta con un cono en su parte inferior. La idea es que se pueda retirar

el polvo obtenido en este proceso por efecto de la gravedad, a través del cono de la cámara de secado. El aire caliente se enfría y es expulsado por un tubo de salida que se encuentra justo en medio de la cámara de secado. En algunos casos, el aire caliente recibe un tratamiento después de ser utilizado para que vuelva a estar en condiciones de ser expulsado al ambiente. En otros casos se recircula por el sistema de secado hasta que pierde sus propiedades.

Los polvos se depositan en la parte inferior del cono, en donde son recuperados.

Campos de aplicación del secado por aspersion

Un rango muy amplio de productos secos por aspersion muy conocidos como la leche en polvo de varias composiciones, jabón y detergentes en polvo, extractos de tanino, extractos de café, etc., se pueden secar en esta planta. También comestibles (Queso, huevos, caldo), vegetales (Plátanos, tomates, soya, pectinas), proteínas, enzimas, fungicidas y vitaminas al igual que otros productos orgánicos e inorgánicos.

Entre los alimentos que son tratados con secado por aspersion se encuentran:

- Ovoproductos
- Leche
- café
- Té
- Concentrados de frutas
- Sueros
- Papillas
- Mezclas para helados
- Extractos de carne
- Proteínas comestibles
- Mantequilla

- Queso. (Desrosier, 1990).

7.- SECADEROS DE LECHO FLUIDIZADO

El procesamiento en lechos fluidizado implica el secado, enfriamiento, aglomeración, granulación y revestimiento de los materiales en gránulos. Es ideal para una amplia gama de productos sensibles y no sensibles al calor. El procesamiento uniforme se logra haciendo pasar un gas (por lo general aire) a una velocidad controlada a través de una capa del producto para crear un estado fluidizado.

El gas de fluidización aporta el calor para el secado en lechos fluidizado, pero el flujo del gas no tiene que provenir de una sola fuente. El calor se puede introducir de manera eficaz calentando las superficies (paneles o tubos) inmersas en la capa fluidizada.

En el enfriamiento en lechos fluidizados se usa gas frío (por lo general aire acondicionado o ambiental). En las plantas de tamaño más económico en ocasiones será necesario acondicionar el gas para lograr que el producto se enfríe adecuadamente y para evitar que capte partículas volátiles (por lo general humedad). El calor también se puede eliminar enfriando las superficies inmersas en la capa fluidizada.

La aglomeración y la granulación se pueden realizar de varias formas, dependiendo del producto que se vaya a alimentar y las propiedades que deba tener el producto final.

El revestimiento en lechos fluidizado de polvos, gránulos o tabletas requiere de la aspersión de un líquido en condiciones estrictamente controladas sobre el polvo fluidizado (Web 14).

Campo de aplicación

- Productos químicos
- Productos farmacéuticos y bioquímicos
- Polímeros
- Productos alimenticios y lácteos

La fluidización de un lecho de partículas del material a secar con aire caliente se utiliza en la deshidratación de alimentos como zanahorias, cebollas, guisantes, harinas, salvados, cacao, café, sal y azúcar. Dado que la turbulencia, en general, es muy intensa y la distribución de temperatura uniforme, el secado transcurre a gran velocidad y el control del mismo puede realizarse con precisión.

Un estudio realizado a trigo a diferentes temperaturas en un sistema de lecho fluidizado realizado a 40, 60, 70,80 y 100, demuestran que a40, 60 y 70 °C, no afectan las características del grano en cambio a temperaturas de 80 y 100°C afectaron significativamente la calidad del trigo (Chávez y Mendoza, 2008).

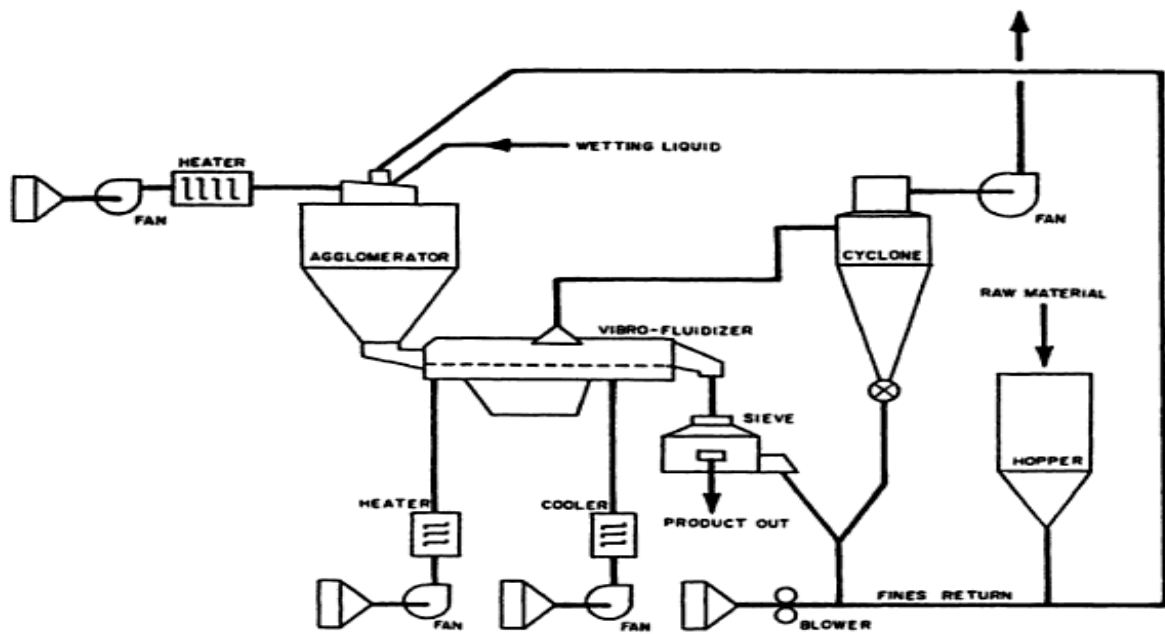


Fig.12. Secador de lecho fluidizado (Hovmand, 1976.).

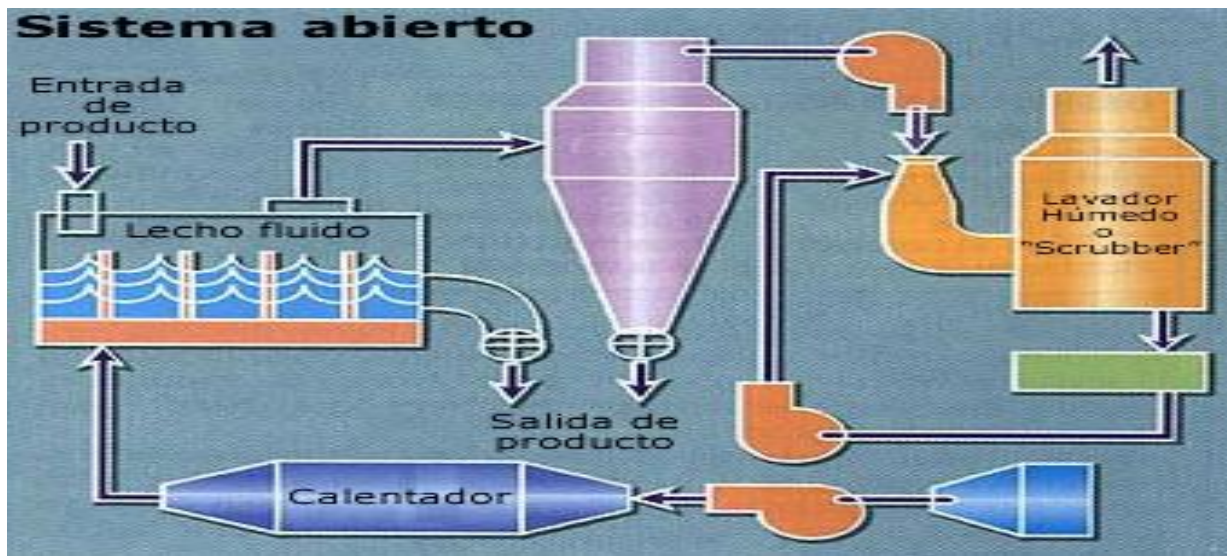


Fig.13. Diagrama de secado de lecho fluidizado (Web 15).

8.- LIOFILIZACIÓN

Método de desecación en el que se elimina el agua por congelación del producto húmedo y posterior sublimación del hielo en condiciones de vacío. Al suministrar calor el hielo sublima y se evita el paso por la fase líquida.

La liofilización o secado por congelación es un proceso en dos fases. En la primera fase el alimento está congelado, pudiéndose utilizar varias técnicas para ello.

El tamaño de los cristales resultara influido por la velocidad de congelación, formándose cristales pequeños a mayores velocidades de congelación. Las dimensiones de los cristales afectaran el subsiguiente, puesto que cristales pequeños originaran un tamaño de poro menor (Lewis, 1993).

Algunos alimentos liofilizados



Cebolla roja



Pimiento rojo



Orégano



Banana

Fig.14; Alimentos deshidratados por liofilización, fuente: (Web 16).

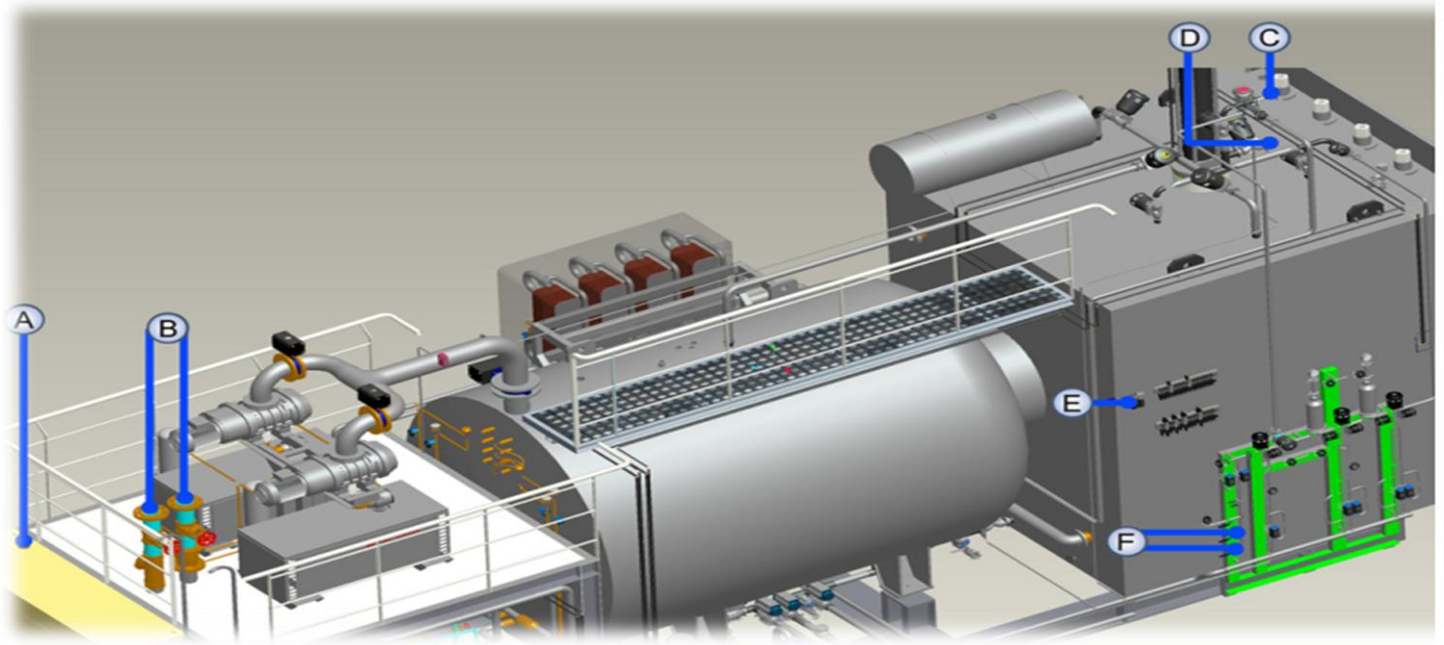


Fig.15. Diagrama de un equipo de Liofilización industrial, (Web 19).

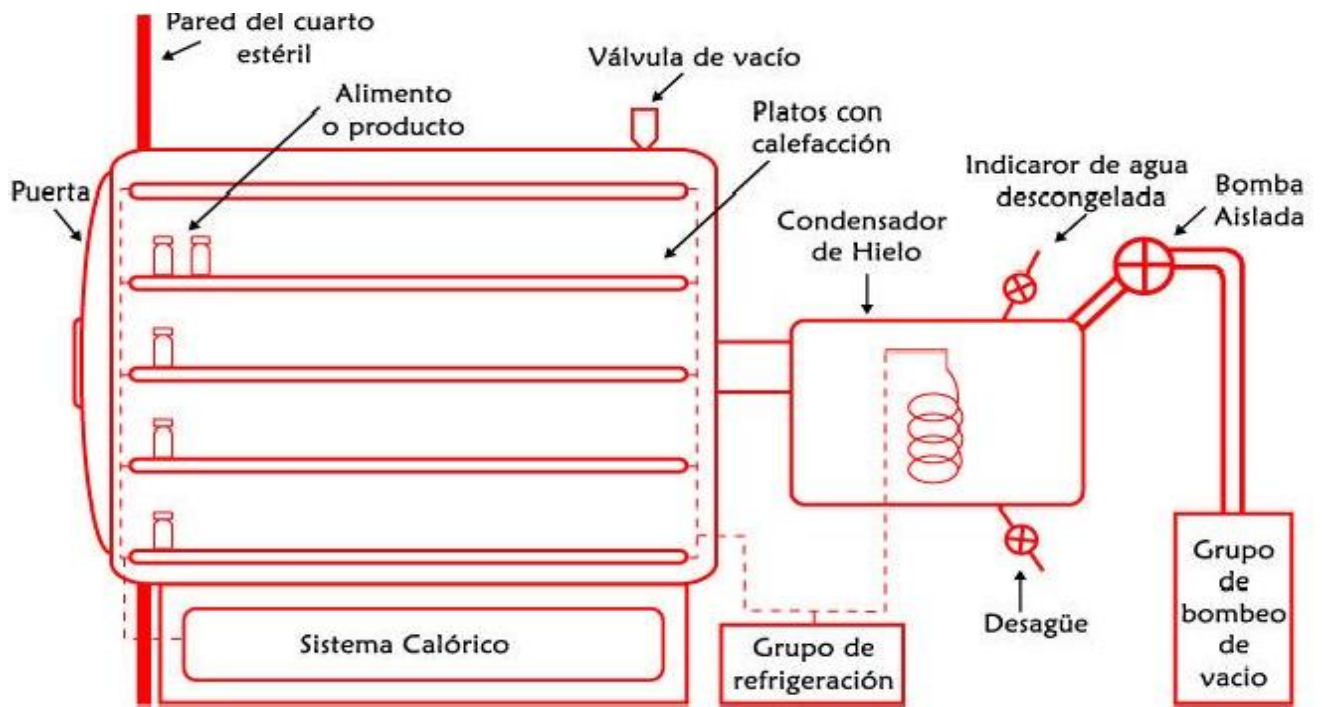


Fig.16; Proceso de liofilización (Web 18)

Etapas del proceso de liofilización

- ❖ Acondicionamiento de la materia prima
- ❖ Congelación
- ❖ Sublimación
- ❖ Ruptura de vacío
- ❖ Almacenamiento
- ❖ Rehidratación

Ventajas y desventajas del proceso de liofilización

VENTAJAS	DESVENTAJAS
✓ Valorización y potenciación de las producciones primarias.	✓ Largo tiempo de procesamiento.
✓ Ausencia de temperaturas altas, por lo que previene el daño térmico.	✓ Alto consumo de energía, en algunos casos.
✓ Conservación, fácil transporte y almacenamiento de los productos.	✓ Costo de inversión inicial alto.
✓ Inhibición del crecimiento de microorganismos, estabilidad microbiológica.	
✓ Recuperación de las propiedades del alimento al rehidratarlo.	
✓ Ausencia de aditivos y/o conservantes.	
✓ Mantenimiento del valor nutricional del alimento.	
✓ Empleo de vacío, estabilidad química.	

(Web16).

Campos de aplicación de la liofilización

SECTORES	PRODUCTOS LIOFILIZADOS
Cárnicos	Carne bovina
	Carne aviar: pechuga de pollo, pechuga de pavo, muslo de pollo.
	Carne porcina: jamón, lomo.
Frutas	Frutillas, Fresas, banana, ananá, moras, frambuesa.
Vegetales	Espárrago, choclo, zanahoria, brócoli, coliflor, apio, papa, hongos, aceituna, espinaca, ajíes, arroz, arvejas, cebolla.
Quesos	Queso Prato, Queso Mozzarella, Queso Provolone, Queso Blanco.
Otros	Café, sopas, zumos de frutas, levaduras, caldos, salsas, especias, champignones.

(Web 16).

Se pueden liofilizar para su conservación: materiales no vivientes, tales como plasma sanguíneo, suero, soluciones de hormonas, productos farmacéuticos biológica mente complejos como vacunas, sueros y antídotos; transplantes quirúrgicos con mucho tejido conectivo: arterias, piel y huesos; microorganismos simples destinados a durar largos períodos sin heladera, como bacterias, virus y levaduras. El proceso no es apto para células de tejidos blandos, que si bien se pueden liofilizar, pierden su viabilidad en el proceso.

La liofilización es ampliamente usada para la conservación de productos alimenticios: detiene el crecimiento de microorganismos (hongos, mohos, etc.), inhibe el deterioro del sabor y color por reacciones químicas, enranciamiento y pérdida de propiedades fisiológicas; y facilita el almacenamiento y la distribución. No sólo deja de ser necesaria una cadena de frío, sino que, a pesar de la gran pérdida de peso, los productos mantienen el volumen y la forma original. El material es fácilmente rehidratable. La liofilización es un procedimiento de secado

cuyo principio es la sublimación del hielo de un producto congelado. El ciclo se desarrolla en dos fases:

- Fase de sublimación propiamente dicha, llamada “deshidratación primaria”, que elimina alrededor del 90 % del agua.
- Fase de desorción o de “deseccación secundaria”, que elimina el 10 % del agua ligada restante y que permite obtener un producto con una humedad final del 2%. Esta fase es una evaporación al vacío a temperatura de 20 a 60 °C (Mayer y col., 2006.)

La liofilización preserva la característica funcional de los hongos como: capacidad antioxidante, debido a que las condiciones de secado protegen los bioactivos presentes en la biomasa. Todo método de secado que utilice altas temperaturas (superiores a 70°C) afecta la funcionalidad de la biomasa, en mayor o menor proporción (Rojas y col., 2012).

9.- DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad.

La fuerza impulsora para la difusión del agua desde los tejidos a la solución es la diferencia de actividad acuosa (presión osmótica) entre el alimento y la solución.

Los medios de deshidratación son generalmente soluciones acuosas concentradas de un azúcar o una sal o mezclas de diversos azúcares y/o sales. Asimismo, cuando no es deseable apreciar dulzor en el alimento, como en el caso de la mayoría de los vegetales, se emplean alcoholes de alto peso molecular para reemplazar los azúcares o la conjunción de sal y azúcar u otros edulcorantes para enmascarar a estos últimos.

Acompañando a la eliminación parcial de agua del alimento se produce la pérdida de algunos solutos solubles del mismo que son arrastrados por el agua y una ganancia de solutos por parte del alimento desde la solución. Tanto la magnitud de este fenómeno como la pérdida de agua dependen de las características del producto alimenticio: forma, tamaño, estructura, composición y tratamiento previo (pelado, escaldado, tratamiento de la superficie); de la solución: tipos de solutos, concentración de los mismos y de las condiciones de proceso: temperatura, grado de agitación de la solución, presión de trabajo y relación masa de solución a masa de producto.

Por lo general, la deshidratación osmótica no disminuye la actividad acuosa del alimento de manera tal de estabilizarlo totalmente, sino que sólo extiende su vida útil. Por ello la necesidad de aplicar otros procesos posteriores como secado, congelado o liofilizado, entre otros posibles. La pérdida de agua puede ser aproximadamente del 50-60% de su contenido inicial, existiendo entonces la posibilidad de producir significativas modificaciones en el volumen, forma y estructura del alimento.

La deshidratación osmótica se usa como pretratamiento de muchos procesos para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento sin modificar su integridad.

Algunos autores afirman que el deshidratado osmótico previo al secado convectivo reduce el tiempo de procesado, inhibe la actividad enzimática, retiene el color natural de la fruta y ayuda a retener aromas volátiles durante el resto del proceso de deshidratado. Esta tecnología consiste en la inmersión del alimento en una solución hipertónica, estableciendo dos flujos en contra corriente (Agua y soluto), los cuales se detienen al alcanzar el equilibrio en el sistema (Urfalino y Quiroga, 2011).

Ventajas de la deshidratación osmótica

- ❖ Es eficiente desde el punto de vista energético ya que se lleva a cabo generalmente en condiciones cercanas a la temperatura ambiente sin que el agua cambie de fase.
- ❖ No se afecta prácticamente el color, el sabor, el aroma y la textura del alimento.
- ❖ Es un proceso tecnológicamente sencillo.
- ❖ Se puede trabajar con pequeños volúmenes de producto.
- ❖ Produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado ya que no debe someterse a altas temperaturas como en otros tratamientos térmicos como es el caso del secado convectivo.
- ❖ Por lo general, no se requiere tratamiento químico previo para evitar el pardeamiento del producto, pues al estar sumergido en la solución se minimiza el contacto con el oxígeno y de esta manera, se retarda el proceso.
- ❖ Se retienen la mayoría de los nutrientes.
- ❖ Puede aumentar la relación azúcar/ácido. Ponting (1973), observó que los ácidos de las frutas eran extraídos de la fruta junto con el agua eliminada en la deshidratación dando lugar a un producto con un menor contenido en ácidos y mayor tenor de azúcar.

Producto a deshidratar

Solución osmótica

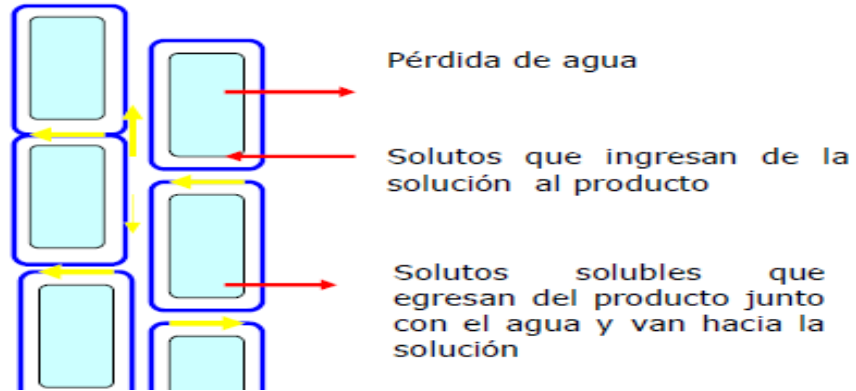


Fig.17; Diagrama de deshidratación osmótica.

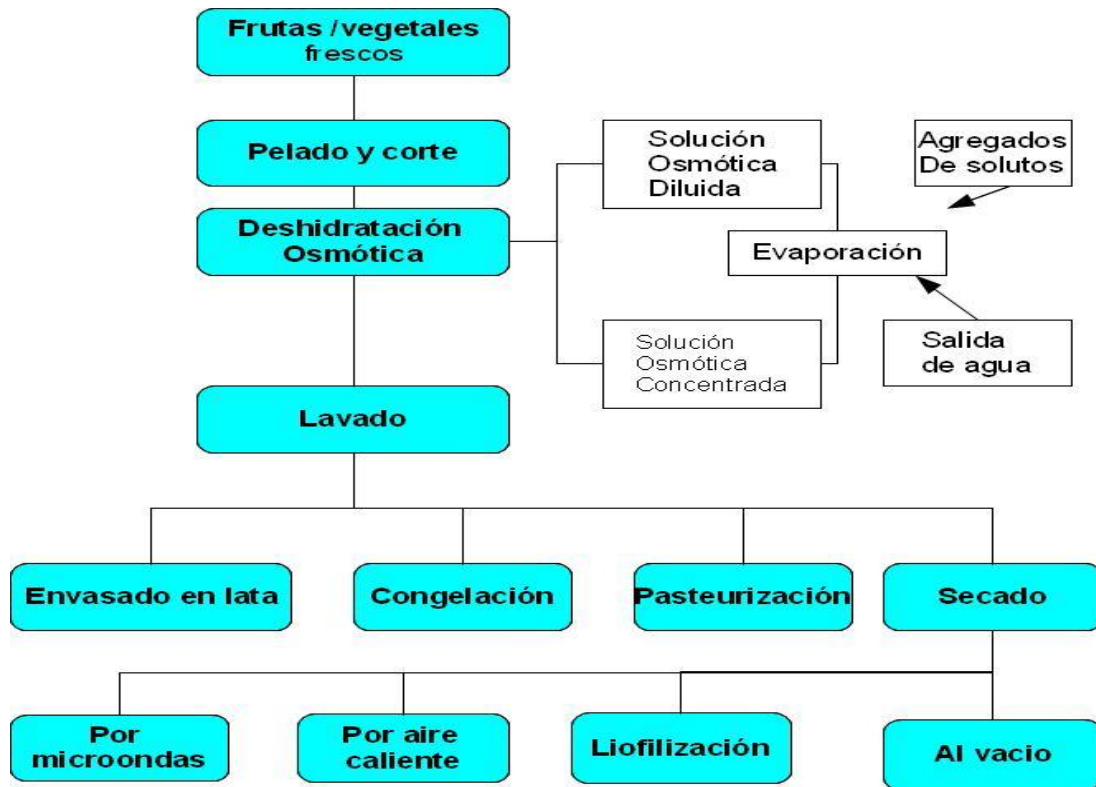


Fig. 18; Principales etapas en el procesamiento de productos deshidratados osmóticamente

Inconvenientes que pueden presentarse en el proceso de deshidratación osmótica

1.- Características sensoriales del producto

Uno de ellos podría ser el aumento en el contenido de sal o el mayor dulzor y/o la disminución de la acidez del producto. Para evitar este problema se puede recubrir el producto con una membrana semipermeable comestible que reduce la transferencia de solutos pero incrementa la pérdida de agua.

2.- La transferencia de masa

Durante la deshidratación osmótica ocurre a través de las membranas y paredes celulares. El estado de las membranas celulares puede variar de parcialmente a totalmente permeable. Este fenómeno puede llevar a cambios significativos en la arquitectura de los tejidos. Durante la remoción osmótica de agua de los alimentos, el frente de deshidratación se mueve desde la superficie que está en contacto con la solución hacia el centro. El esfuerzo osmótico asociado puede resultar en la desintegración celular. La causa más probable del daño celular puede atribuirse a la reducción de tamaño causada por la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica, resultando en la pérdida de contacto entre la membrana celular externa y la pared celular.

3.- Tipo de agente osmótico

Los más comúnmente usados son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes; si bien también distintas mezclas de solutos han sido probados.

Otros agentes osmóticos pueden ser: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus mezclas. La elección dependerá de varios factores tales como costo del soluto, compatibilidades organolépticas con el producto terminado y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final y de la influencia del soluto sobre las características organolépticas del producto tratado (shafiur y Conrad, 2003).

Diseño de equipos de deshidratación osmótica

Las aplicaciones industriales de la deshidratación osmótica tienen problemas con el manejo y movimiento de grandes volúmenes de soluciones concentradas de solutos y con el diseño de equipos de operación continua.

Para el diseño de equipos se deben considerar los siguientes principios:

- ❖ Control de la transferencia de masa con parámetros como la concentración de solutos en la solución, temperatura, presión y nivel de agitación.
- ❖ Manejo del producto con sumo cuidado para evitar su rotura
- ❖ Uso de una relación masa de solución a masa de producto adecuada y menor que la empleada a escala laboratorio para minimizar el volumen de solución a reciclar y el efluente final obtenido cuando ya no se pueda reciclar la solución
- ❖ Adición de solutos a la solución que puedan tener alguna función benéfica para la salud como por ejemplo: el agregado de minerales, probióticos, etc.

10.- SECADO POR MICROONDAS

Las microondas son parte del espectro electromagnético y en consecuencia, se componen de campos magnéticos y eléctricos. En el calentamiento de alimentos por microondas, los campos eléctricos interactúan con las moléculas de agua y iones en el alimento, generando calor en forma volumétrica en el interior del mismo. La estructura de la molécula está constituida por un átomo de oxígeno, cargado negativamente y dos átomos de hidrógeno, cargados positivamente. La molécula de agua es un dipolo eléctrico que, cuando se lo somete a un campo eléctrico oscilante de elevada frecuencia, los dipolos se reorientan con cada cambio de polaridad. Así se produce la fricción dentro del alimento que hace posible que el mismo se caliente.

La diferencia principal entre las microondas y la radiación infrarroja es que las microondas inducen una fricción entre las moléculas de agua, que provoca calor; en cambio, la energía infrarroja es simplemente absorbida y convertida en calor. El calor generado por las microondas no es uniforme. En el interior de los alimentos, se producen gradientes de temperatura que ocasionan la difusión del agua y provoca cambios en las propiedades de éstos que a su vez tienen efecto sobre la generación de calor. En síntesis, podemos decir:

Las ondas electromagnéticas son responsables de la generación de calor, la transferencia de humedad y de los cambios bioquímicos y transformaciones físicas que se producen en el alimento.

El tratamiento industrial por microondas se halla restringido por sus costos y la necesidad de sintonizar el magnetrón con diferentes alimentos. La aplicación industrial más importante es la descongelación, la deshidratación y la terminación del horneado. Para productos de pequeño espesor como bizcochos, la eficacia del horneado convencional puede mejorarse sometiéndolos a un tratamiento final por microondas. Los hornos convencionales para lograr una cocción interna buena provocan cambios de color en la superficie; esto se debe a que la conductividad térmica del bizcocho va disminuyendo a medida que se va secando, entonces el

tiempo para cocer las partes internas del producto son excesivamente grandes. Para solucionar esto, a la salida de los túneles de horneado se instalan unos calentadores por microondas que completan la cocción sin provocar cambios de color apreciables en la superficie. La utilización de las microondas con alimentos de elevado contenido de humedad ha tenido menos éxito. Ello se debe a la escasa profundidad de penetración alcanzada en piezas muy grandes y al efecto refrigerante que ocasiona la evaporación del agua en la superficie del alimento, que puede ocasionar la supervivencia de los microorganismos en esta zona. Para el desarrollo de nuevas tecnologías y/o la optimización de procesos ya existentes es necesario determinar la acción de los factores individuales y su interacción. En este sentido, el escaldado y la aplicación de microondas se presentan como alternativas para la inhibición de la actividad enzimática (Urfalino y Quiroga, 2011).

Principales componentes y función de las partes del microondas

Magnetron: genera las microondas necesarias para calentar el agua de los alimentos.

Transformador: transforma la tensión de la red de 230 voltios a los 4000 voltios que necesita el magnetron.

Condensador: almacena temporalmente la energía que necesita el magnetron.

Termistor: controla la temperatura del microondas y para el magnetron para que no haya sobrecalentamientos.

Ventilador: refrigera el circuito interior del microondas. funciona a 230v.

Fusible de alto voltaje: protege el circuito eléctrico de alto voltaje formado por transformador, magnetron y condensador.

Diodo de alto voltaje: a través de él se descarga el condensador. se conecta entre condensador y carcasa.

Motor del plato: produce el giro del plato interior del microondas, funciona a 230v.

Resistencia o grill: sirve para dorar los alimentos, ya que el magnetron sólo los cuece funciona a 230v. algunas aplicaciones de las microondas:

Temporizador y timbre: el temporizador es un motor conectado a una rueda graduada por minutos. Cuando llega a cero acciona el timbre y desconecta el microondas (De los Ríos, 2007).

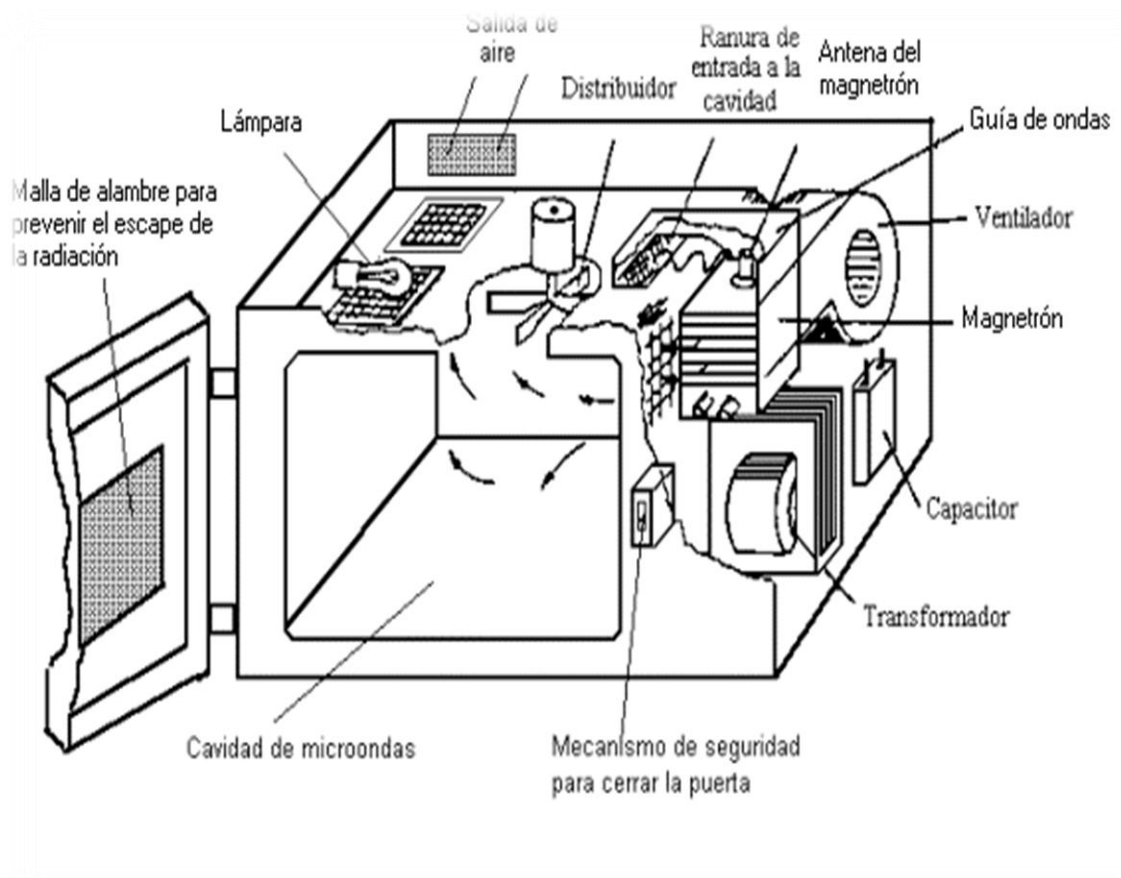


Fig.18; Diagrama de los componentes del microondas (Web 17).

Ventajas y desventajas de microondas en el secado

Entre las principales ventajas se pueden citar:

- ❖ Una mayor eficiencia en la difusión de calor y materia
- ❖ Desarrollo de gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado

- ❖ Posibilidad de trabajar a menores temperaturas superficiales
- ❖ Mejora en la calidad de producto obtenido.

Desventajas

- ❖ Calentamiento no uniforme del producto
- ❖ Costos de instalación altos
- ❖ Eficiencia energética baja

No obstante el secado con microondas se considera viable para alimentos que requieren tiempos de secado cortos y una producción significativa. Es decir aquellos alimentos a los cuáles debe eliminarse una baja cantidad de agua. Asimismo, se puede utilizar el secado con microondas en aquellos productos que tienen riesgo de formación de costra en su superficie. Por otra parte, el costo del secado combinado puede reducirse cuando se usa el secado por microondas junto con otro método de menor costo.

La aplicación de microondas en el deshidratado de frutas no es común en escala industrial, aunque se están llevando a cabo muchas investigaciones al respecto (Urfalino y Quiroga, 2011).

CAPITULO V

CONCLUSIÓN

El secado en alimentos es de mucha importancia para la conservación de alimentos, además de las condiciones que pueden ser controlables y así obtener el grado de secado adecuado.

Podemos conservar frutas, granos, vegetales y carnes, para conseguir una posibilidad de subsistencia en casos necesarios o temporadas de escases.

El almacenamiento y transporte es una reducción económica al disminuir espacios.

En los equipos de secado se tiene que elegir el de mayor conveniencia de acuerdo al tipo y uso del producto o alimento a deshidratar y tomando en consideraciones los aspectos que implican tiempo, y costos.

Es un buen método de conservación, evitando deterioros en alimentos por microorganismos ajenos al este.

Por lo tanto, es una solución a problemas en temporadas de escases de alimentos consumidos por las personas.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

1. **Brennan**, J.G. 1980. “*Las operaciones de la Ingeniería de los alimentos*” 2ª edición, Editorial Acribia.
2. **Chávez** Vázquez L. y Mendoza Vizcarra M, 2008, Rev. Mex. Ing. Quím. vol.7 no.2 México. 2008.
3. **Cortés** Arminio Coral Irisol. 2009. Tesis de licenciatura: Encapsulación de *Lactobacillus casei* mediante secado por atomización utilizando aguamiel como agente encapsulante. **Universidad de las Américas Puebla**, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Cholula, Puebla, México.
4. **Desrosier** Norman, W. (1990). Conservación de alimentos. Ed. Continental, México. 18ª Edición.
5. **Estrada** Velázquez Luis Miguel, 2006, tipo de secado y características en algunos alimentos, Monografía, UAAAN, Buena vista, Saltillo, Coahuila, México.
6. **Fernández** Arévalo, María Mercedes. 2010. Profesora titular de la Universidad de Sevilla España imparte el curso de tecnología y farmacia.
http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/secado.pdf
7. **De los Ríos** Fernando, I.E.S. universidad virtual, Taller Tecnológico y profesional ESO, Electrodomésticos Curso 2007-2008.
<http://www.iesfernandorios.es/files/tecnologia/Documentacion%20microondas.pdf>.
8. **González** Sánchez H. M., González Palomares S., Rosales Reyes T. 2011. Caracterización de compuestos volátiles durante el secado por aspersión de jugo de sandía (*Citrullus lanatus*Thunb.) Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 51, (10-15) Enero-Abril.
9. **Grau** Andrés, Ana M., Albores Sorolla A., Barat Baviera J. 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Ed. Univ. Politécnica. Valencia.
10. **Hovmand** S. 1976. “Fluid bed drying”, 2ª edición, Revised and Expanded, Volumen 1.
11. **Cachadiña** Gutiérrez Isidro. 2006. Apuntes del temario: termodinámica y termotecnia, Profesor Titular de la Universidad del Dpto. de Física Aplicada de la Universidad de Extremadura. perteneciente a la Universidad de Sevilla,
<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>
12. **Lewis** Michael John, 1993, “Propiedades Físicas de Los Alimentos y de Los Sistemas de Procesado”. Editorial Acribia.
13. **Lorenzo** Tamara Díaz, Cardona Gálvez Marta, Caballero Torres Angel, Morejon Martin Pedro, Sánchez Azahares Yariela. 2005. Caracterización de la conservación de alimentos en diferentes instalaciones. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, vol. 36, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Cuba.

14. **Marín** B. Eduardo, Lemus M Roberto, Flores M Verónica, Vega G Antonio. 2006. la rehidratación de alimentos deshidratados, *Rev. Chil. Nutr.* Vol. 33, N°3. Diciembre.
15. **Márquez** Carlos Alberto, Michelis Antonio, 2008, Propiedades de lechos fijos durante la deshidratación convectiva de cerezas, guindas y rosa mosqueta. Cambios de volumen y porosidad. *Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas*, 28(2): 311-316, abr.-jun. 2008.
16. **Mayer** Leonardo E, Bertoluzzo Stella Maris, Bertoluzzo María Guadalupe. 2006. Conservación de alimentos diseño y construcción de un liofilizador. *Invenio*. vol. 9, núm. 17, noviembre, 2006, pp. 147-157. Universidad del Centro Educativo Latinoamericano, Argentina.
17. **Mendoza** Adolfo Amador, Espinoza Cortes Hilda, Herman Erasmo y Lara, Cecilia, Martínez Sánchez Eugenia, Ruiz-López Irving Israel. 2011. Modelación matemática del proceso secado empleando flujo de aire revertido. *Ciencia y Mar* XV (43): 49-54.
18. **Parra** Huertas Ricardo Adolfo. 2010. Microencapsulación de Alimentos, *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63(2):5669-5684.
19. **Potter**, Norman N. Joseph H. Hotchkiss. 1999. La ciencia de los alimentos. 5a edición. Editorial Acribia.
20. **Orozco** A. Carlos, Osorio R., Guillermo Mendoza G., Romo I. Noemí Teresa e Serratos C. Isabel. 2006. *Revista Ciencia y Desarrollo*. Secado de alimentos por aspersión.
http://www.conacyt.gob.mx/comunicacion/revista/192/Articulos/Alimentos_Secado.html
21. **Riveros** U Gabriel. 2008, Profesor de la Facultad de Física y Matemáticas, Universidad de Chile, curso; Pirometalurgia.
22. **Rojas**, Diego; Palacio, Ana M.; Ospina, Sandra P. Zapata Paola, Atehortúa Lucía. 2012. Biotecnología de hongos basidiomicetes en el desarrollo de alimentos funcionales: procesos de secado vs. Capacidad antioxidante. *vitae* vol. 19, núm. 1, pp. S231-s233. Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.
23. **Saavedra**, Jorge A. Puente, Luis. González, Guillermo A. Camousseigt, Iván B, 2008. Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para fines de Docencia en *Ingeniería de Alimentos*, Vol. 19(4), 3-10, doi:10.1612/inf.tecnol.3934it.07.
24. **Shafiur** Rahman y Conrad o. Perera, 2003 “manual de conservación de los alimentos”. Editorial Acribia.
25. **Thompson**, J.F, Kader, A.A and. 1992. In: kader, A.A. (ed). Postharvest Thechnology of Horticultural Crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, publication 3311.
26. **Urfalino** D.P, Quiroga A. 2011. Desarrollo de técnicas combinadas de secado para la obtención de duraznos deshidratados con bajo contenido de sulfitos RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. vol. 37, núm. 2, pp. 165-171, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Argentina.

Web 1

http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/implementacion-equiposecado-alimentos/id/52465844.html

Web 2

www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/fundam/p9.htm.

Web 3

<http://www.dryingmachineschina.es/1-1-hot-air-oven-drying.html>

Web 4

http://www.dryingmachineschina.es/big_img.html?etw_path=http://www.dryingmachineschina.es/1-1-hot-air-oven-drying.html&big_etw_img=product/1-1-1b.jpg

Web 5

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035/lecciones/cap7/leccion7_6.htm

Web 6

<http://www.directindustry.es/prod/fan-separator-gmbh/secadores-tambor-90301-961449.html>

Web 7

<http://www.scribd.com/doc/18664714/Secado-y-Equipos-de-Secado,26/10/2013>

Web 8

www.directindustry.es/prod/allgaier/secadores-tambor-indirectos-13878-805207.html

Web 9

[http://depa.fquim.unam.mx/procesos/secado/equipo.htm\(20/02/14\)](http://depa.fquim.unam.mx/procesos/secado/equipo.htm(20/02/14))

Web10

[http://www.tunna.com.mx/soporte/boletines-informativos/55-caracteristicas-secadores.htm.12/01/14\)](http://www.tunna.com.mx/soporte/boletines-informativos/55-caracteristicas-secadores.htm.12/01/14)

Web11

[http://www.quiminet.com/articulos/el-secado-por-aspersion-funcionamiento-y-ventajas-2636278.htm.\(01/02/14\)](http://www.quiminet.com/articulos/el-secado-por-aspersion-funcionamiento-y-ventajas-2636278.htm.(01/02/14))

Web 12

<http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/convierten-miel-de-cana-en-panela-polvosa.html>

Web 13

<http://www.sostaqua.com/publications/publications.php?act=6&task=23>

Web 14

http://www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/secadores/procesadores_de_lecho_fluidizado.htm

Web 15

http://www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/secado_lecho_fluido_accion.asp

Web 16

[http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/ficha_03_liofilizados.pdf.\(01/02/14\)](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/ficha_03_liofilizados.pdf.(01/02/14)

Web 17

<http://crocetex.com/notifiarandula/570-funcionamiento-de-un-microondas>

Web 18 <http://procesosbio.wikispaces.com/Liofilizaci%C3%B3n>

Web 19 <http://liofilizacion.wordpress.com/2010/11/30/vamos-todos-a-liofilizar-nuestros-productos-con-la-ayuda-de-dios-la-solucion-para-el-hambre-en-el-mundo>