

T
664
A37

NO SALE A
DOMICILIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA



: 224

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS

MEMORIA DESCRIPTIVA

“PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA ATOMIZACIÓN DE PULPA
DE *Myrciaria dubia* (CAMU CAMU) Y *Mauritia flexuosa* L. F
(AGUAJE).”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

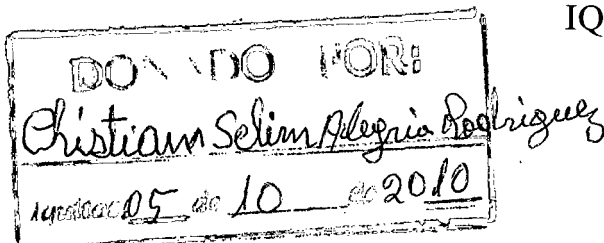
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

CHRISTIAM SELIM ALEGRÍA RODRÍGUEZ

IQUITOS- PERÚ

2010



Memoria Descriptiva aprobada en sustentación publica del día 20 de julio del

2009

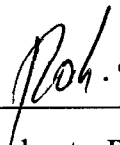
MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR



Ing. Jorge Augusto Torres Luperdi
Presidente



Ing. Juan Alberto Flores Garazatua
Miembro



Ing. Pedro Roberto Paredes Mori
Miembro

DEDICATORIA

A Dios mi padre celestial que me enseñó
el camino y fue la fuerza que me permitió
seguir adelante en esta aventura

A mis amados padres: Waldemar y Mariela,
que gracias a su amor y apoyo incondicional
me permitio crecer como persona y como
profesional.

A mis tíos: Victor, Carla,
Poly, Betty, Mercedes, Homero,
Olga, Edwin, Milena y Semira
por sus consejos

A mis hermanos: Jhonatan, Victor y Litho

A Ruth Damaris por ayudarme
a ser mejor persona.

A la memoria de mi abuelo Víctor y mi
tío Roque que están en el Cielo.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Industria Alimentarias, de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana y a aquellos docentes que me ayudaron a crecer como profesional y como persona.

Un reconocimiento sincero y especial al Dr. Alenguer Alva Arévalo, por su apoyo incondicional en el presente trabajo.

Un reconocimiento especial al Dr. Litman Gonzáles.

Un reconocimiento al Dr. Antonio Pasquel.

Un reconocimiento al Ing. Elmer Trevejos por su apoyo durante mi carrera.

Un reconocimiento especial al Ing. Jorge Torres Luperdi por los años de servicio que brindo a nuestra querida facultad.

A la Ing. Daniela Reátegui Sibina por sus consejos en clases.

Al Ing. Jimmy Asencios, por darme la oportunidad de desempeñarme en esta hermosa carrera.

También expreso mi reconocimiento a mis Amigos: Sinclair, Miguel, Luis, Gionfranco, Ursula, Luz, Eduardo y Beder por brindarme su amistad.

ÍNDICE

	Pág.
Lista de Tablas	i
Lista de Figuras	ii
I. TITULO	1
II. ANTECEDENTES	1
III. OBJETIVO.	3
3.1 Objetivo general:	3
3.2 Objetivos específicos:	3
IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
4.1 Descripción Biológica del Camu- Camu:	3
4.1.1 Conservación y Valor Nutritivo.	4
4.2 Descripción Biológica del Aguaje:	5
4.2.1 Conservación y Valor Nutritivo.	6
4.3 Secado por Atomizado:	7
4.3.1 Secado de Alimentos.	9
4.3.2 Curvas de Velocidad de Secado.	9
4.3.3 Sistemas de Deshidratación.	10
4.3.4 Equipo para secado.	12
4.3.4.1 Secado en bandejas.	12
4.3.4.2 Secadores indirectos al vacío con anaqueles.	13
4.3.4.3 Secadores continuos de túnel.	14
4.3.4.4 Secadores rotatorios.	14
4.3.4.5 Secadores de tambor.	15
4.3.4.6 Secado de cosecha y granos.	15
4.3.4.7 Secado por atomización.	15
a. Sistema de Calefacción del Aire.	18
b. Sistemas de Dispersión.	19
c. Cámara de Secado.	20
d. Sistemas De Separación Del Polvo.	21
4.3.5 Ventajas del secado por atomización.	23
4.3.6 Desventajas del secado por atomización.	24

4.3.7	Clasificación de atomizadores.	24
4.3.7.1	Atomizadores neumáticos — dos fluidos.	25
4.3.7.2	Inyectores de Presión.	26
4.3.7.3	Atomizadores rotatorios.	29
4.3.8	Interacción entre las gotas y el aire de secado.	31
4.3.9	Fenomenología Del Proceso De Atomización.	32
4.3.10	Balance de materia y calor.	34
4.3.11	Transferencia de materia y calor.	36
4.3.12	Secado de gotas.	37
4.3.12.1	Gotas de líquido puro.	37
4.3.12.2	Gotas con sólidos disueltos.	37
4.3.12.3	Gotas con sólidos insolubles.	38
4.3.13	Microestructura de los productos atomizados.	38
4.3.14	Distribución de los tamaños de las partículas.	39
4.3.15	Propiedades físicas globales de los materiales secados por atomización.	40
4.3.15.1	El tamaño de la partícula.	40
4.3.15.2	La densidad global o a granel.	41
4.3.15.3	El contenido de polvo.	41
4.3.16	Reconstitución de productos atomizados.	42
4.3.17	Caracterización de alimentos en polvo.	43
4.3.17.1	Tamaño y forma de las partículas.	44
4.3.17.2	Distribución de las partículas por su tamaño.	45
4.3.17.3	Descripción de la forma de las partículas.	45
4.3.17.4	Clasificación de polvos.	46
4.3.18	Encapsulantes.	47
4.3.18.1	Procesos de encapsulación.	48
4.3.18.2	Gelatina.	49
4.3.18.3	Carboximetil celulosa sódica (CMC).	50
4.3.18.4	Maltodextrina.	50
4.3.19	Emulsificantes.	51
4.3.19.1	Almidones.	51
4.3.19.2	Gomas.	51
4.3.19.3	Mono y diglicéridos.	53

4.3.19.4	Lecitina.	54
4.3.20	Aplicación en la industria alimentaria.	56
V.	METODOLOGÍA.	56
VI.	DISEÑOS EXPERIMENTALES.	58
6.1	Para el Camu-camu.	58
a.	Materia prima.	59
b.	Selección.	59
c.	Lavado.	59
d.	Obtención de la pulpa de Camu Camu.	59
e.	Refinado.	60
f.	Acondicionamiento de la pulpa refinada antes del secado.	60
g.	Deshidratado.	60
h.	Envasado.	60
i.	Almacenado.	60
6.1.1	Descripción del proceso para el secado del extracto.	61
6.1.1.1	Con CMC.	61
6.1.1.2	Con gelatina.	61
6.1.1.3	Con Maltodextrina.	62
a.	Mezclado.	62
b.	Enfriado.	62
c.	Secado por atomización.	63
d.	Envasado.	63
e.	Almacenado.	63
6.2	Para el Aguaje.	64
a.	Materia prima.	65
b.	Selección.	65
c.	Lavado.	65
d.	Maduración.	65
e.	Amasado.	65
f.	Pulpeado.	65
g.	Refinado.	66
h.	Filtrado.	66
i.	Pasteurización	66
j.	Almacenado.	66

6.2.1	Descripción del proceso para el secado del extracto.	67
6.2.1.1	Con CMC.	67
6.2.1.2	Con gelatina.	67
6.2.1.3	Con Maltodextrina.	68
a.	Mezclado.	68
b.	Enfriado.	68
c.	Secado por atomización.	69
d.	Envasado.	69
e.	Almacenado.	69
VII.	CONCLUSIONES.	70
VIII.	RECOMENDACIONES.	71
IX.	BIBLIOGRAFÍA.	72
X.	ANEXOS.	75

LISTA DE TABLAS

TABLA N° 1.- Componentes del Camu-camu

5

TABLA N° 2.- Componentes del Aguaje

7

TABLA N° 3.- Alimentos y productos agrícolas y tipos de secaderos
mas adecuados.

12

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1. Representación de los periodos de secado en la velocidad constante y decreciente	10
FIGURA N° 2. Diagrama de flujo de proceso por atomización.	17
FIGURA N° 3. Clasificación de Atomizadores	25
FIGURA N° 4. Clasificación de secaderos según el movimiento de atomización.	32
FIGURA N° 5. Diagrama de flujo del secado por atomización.	35
FIGURA N° 6. Representación de polvos (A) no cohesivo y (B) cohesivo	47
FIGURA N° 7. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de Camu-camu.	58
FIGURA N° 8. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de Camu-camu con CMC.	61
FIGURA N° 9. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de Camu-camu con Gelatina.	61
FIGURA N° 10. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de Camu-camu con Maltodextrina.	62
FIGURA N° 11. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de aguaje.	64
FIGURA N° 12. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de Aguaje con CMC.	67
FIGURA N°13. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de Aguaje con Gelatina.	67
FIGURA N° 14. Diagrama de flujo para el atomizado de Pulpa de Aguaje con Maltodextrina	68

I. PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA ATOMIZACIÓN DE *myrciaria dubia* (CAMU CAMU) Y *mauritia flexuosa* (AGUAJE).

II. ANTECEDENTES

La Amazonía Peruana presenta una mega diversidad biológica muy importante siendo las especies *Myrciaria dubia* “camu camu” y *Mauritia flexuosa* L. f. “aguaje”, los frutales nativos más abundantes del bosque tropical inundable, formando grandes poblaciones monotípicos, llamados “camucamales” y “aguajales” respectivamente, de gran importancia en la alimentación, puestos que sus frutos forman parte de la dieta de la fauna silvestre básicamente de ungulados, roedores y primates, así como también del hombre amazónico.

La comercialización de los frutos tanto del aguaje como la del camu camu en la ciudad de Iquitos, constituye una actividad económica importante para la población local, esto debido a la cantidad diaria de frutos consumidos, que es aproximadamente 600 sacos ó 23 toneladas (cada saco equivale en promedio a 38 kg), sin embargo, esta cantidad varia estacionalmente dependiendo de la accesibilidad del recurso (Bejarano y Piana 2002). El fruto maduro se utiliza tanto para el consumo directo, como en la preparación de pasta de aguaje (pulpa como masa pero sin semilla), que luego es empleada en la elaboración de refrescos y helados (Villachica 1994).

Investigaciones realizadas por la Facultad de Ciencias Agronómicas de l'Etat-Bélgica, en convenio con la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, han demostrado que el aceite de aguaje contiene carotenos (pro vitamina A) de 173 a 260 mg/100gr y tocoferoles (vitamina E) de 80 a 100 mg/100gr (Lognay Et Al, 1987).

Por todo lo mencionado se puede sugerir que el aguaje resulta ser una especie potencial para el desarrollo futuro de nuestra Amazonía.

Los frutos tienen importancia relevante en la dieta humana ya que contienen nutrientes esenciales en gran proporción en comparación con otros alimentos, tal como el ácido ascórbico.

El Camu-camu se encuentra en un mercado en rápida expansión, las características de este producto natural y orgánico y las propiedades que se están comprobando científicamente, hacen del Camu-camu un producto con un gran potencial.

El cultivo de este fruto es altamente promisorio porque existe un mercado internacional creciente. Hace más de tres décadas eran escasos los conocimientos para cultivarlo técnicamente y sosteniblemente fuera de su ambiente natural. Este fruto no tiene potencial de compra directa debido a su alta perecibilidad. En la actualidad se realiza una incipiente en forma de pulpa congelada a Japón, mercado donde hay más conocimiento acerca de sus valores nutritivos. (Flores, 2003).

La actual tendencia en Europa, EEUU y Japón, donde los consumidores se preocupan mucho por el cuidado de la salud, es el consumo de productos naturales, lo que permite que productos como el Camu-camu, con alto valor energético y nutracéutico, puedan tener una gran demanda. Según información proporcionada por PROMPEX las exportaciones de esta planta se va incrementando año a año.

El proceso de deshidratación tiene como objetivo el de alargar la vida útil del alimento, manteniendo al máximo sus nutrientes y atributos sensoriales para seguir siendo atractivos al consumidor.

Por otra parte la atomización es un tipo de secado que permite obtener un producto deshidratado utilizando temperaturas altas pero con tiempos cortos, es un método de secado que se viene utilizando desde mediados del siglo XX en la atomización de la leche. Hoy en día se está utilizando mucho en la industria alimentaria, en la obtención de productos instantáneos como refrescos, café, colorantes, leche en polvo. Obtener un producto seco a través de la atomización es muy costoso lo cual recompensa con resultados satisfactorios porque evita que se produzca pérdida de componentes termolábiles (Colomé, 2007)

La atomización de pulpa de Camu-camu y Aguaje, nos brindará el consumo de estos productos en épocas del año donde no se cosechan y recolectan, y que por su composición química son susceptibles a descomponerse.

III. OBJETIVO.

3.1 Objetivo general:

- Proponer tecnología para la atomización de pulpa de *Myrciaria dubi* (Camu camu) y *Mauritia flexuosa* (Aguaje).

3.2 Objetivos específicos:

- Determinar variables óptimos para el atomizado de pulpa de *Myrciaria dubia* (camu camu) y *Mauritia flexuosa* (aguaje).
- Determinar los empaques adecuados para conservar los productos atomizados de *Myrciaria dubia* (camu camu) y *Mauritia flexuosa* (aguaje)

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Descripción Botánica del Camu- Camu:

Es un arbusto o árbol pequeño de 4-8 m de altura; fuste delgado de hasta 15 cm de diámetro, bastante ramificado desde la base, corteza externa pardo claro a pardo bronceado con ritidoma que se desprende como pequeñas placas laminares; corteza viva lisa gris o pardo verdoso. Hojas simples, opuestas y sin estípulas; lámina lanceolada u ovoide de 3-12 cm de largo y 1,5-4,5 cm de ancho, margen entero ligeramente ondulado, ápice caudado acumulado, base sub obtusa o redondeada, haz verde oscuro ligeramente lustroso, envés verde claro y opaco, nerviación prominente en el envés, presenta abundantes puntos translúcidos; peciolo corto de 3-8 mm y 1 mm de diámetro. Inflorescencia axilar; flores agrupadas en número de 1-12, subsesiles, bisexuales, cáliz con 4 lóbulos ovoides, corola con 4 pétalos blancos; ovario Infero y unos 1245 estambres.

El fruto es una baya globosa o esférica de 1-3 cm de diámetro y peso variable de 2-20 gr; el epicarpo es delgado, liso, brillante con puntos glandulares y de

color rosado a negro púrpura; la pulpa es carnosa, ácida y de sabor y aroma agradables; las semillas en número de 1-4, con elípticas o reniformes, conspicuamente aplanados, cubierto por una malla de fibrillas blancas, de 8-15 mm de largo por 5,5-11 mm de ancho.

La pulpa del fruto maduro es comestible, es ácido y tiene sabor y aroma agradables. Se utiliza en la preparación de refrescos, néctares, mermeladas, helados y vinagre. En la industria farmacéutica, la pulpa y la cáscara tienen alto potencial para la fabricación de productos altamente concentrados en vitamina C.

El camu camu, es una especie nativa de la cuenca del Amazonas Occidental, distribuida ampliamente en la Amazonía Continental en Perú, Colombia, Brasil y Venezuela. En la región amazónica peruana, se encuentran poblaciones naturales de camu camu en la selva baja, en los departamentos de Loreto y Ucayali. (Flores, 2003)

4.1.1 Conservación y Valor Nutritivo.

El fruto maduro es perecible. El tiempo de conservación sin deteriorarse después de la cosecha es de 10 días; y en refrigeración a 5°C hasta 20 días. El manipuleo de cosecha y de transporte que dañan los frutos por golpes y magullamiento, aceleran el proceso de deterioro natural del fruto. La cosecha al estado pintón y el transporte en envases de máximo 5 kg de capacidad, son medidas que disminuyen la pérdida de calidad de los frutos.

Cosechados los frutos, lavados y aireados se someten al despulpado; una mayor coloración rosada de la pulpa se obtiene utilizando agua caliente a 40°C. Se recomienda previo al liofilizado, el congelamiento inmediato de la pulpa a menos 10°C, con el propósito de conservar la voluminosa pulpa que representa el 55% del fruto y también evitar la desnaturalización del ácido ascórbico de la pulpa que le restaría calidad al producto final.

El principal atributo del camu camu, es el excepcional contenido de vitamina C. El análisis de la pulpa se observa en la siguiente tabla:

Tabla N° 1. Componentes del Camu-Camu.

Componente	100 g de pulpa
Energía	17,0 cal
Humedad	94,4 g
Proteína	0,5 g
Carbohidratos	4,7 g
Fibra	0,6g
Ceniza	0,2 g
Calcio	27,0 mg
Fósforo	7,0 mg
Hierro	0,5 mg
Caroteno	trazas
Tiamina	0,01 mg
Riboflavina	0,01 mg
Niacina	0,62 mg
Acido ascórbico reducido	2880,00 mg
Acido Ascórbico total	2994,00 mg

4.2 Descripción Botánica del Aguaje:

El aguaje es una palmera polígamo dioica (palmas con flores femeninas, masculinas o bisexuales), tiene una copa esférica, y en condiciones naturales puede alcanzar una altura de 35 m, El tallo o estípote es recto, liso, cilíndrico, columnar con DAP 30-60 cm Las raíces primarias profundizan hasta 60 cm. y luego desarrollan horizontalmente hasta 40 m, tienen raíces secundarias

aeríferas o neumatóforos que le permiten respirar a las raíces en condiciones hidromorfas. Las hojas son compuestas, flabeladas, de 5-6m. de longitud, agrupadas en número de 10-20 en la parte terminal del tallo formando la copa; la lámina tiene 80-90 cm de diámetro y se prolonga en el pecíolo; el haz es verde oscuro y el envés verde claro; el pecíolo es profundamente acanalado, verde oscuro y puede alcanzar hasta 4m de largo. Las inflorescencias masculina y femenina son iterfoliares, iguales en tamaño y forma, de 2-3m de largo; las flores masculinas miden 10 x 7 mm, en la yema y la flor femenina mide 2mm de largo.

El fruto es una drupa, subglobosa o elíptica, mide 5-7 cm de longitud y 4-5 cm de diámetro, el peso varía 40-85 g; el epicarpo es escamoso de color pardo a rojo oscuro; el mesocarpo suave, amiláceo, de color amarillo, anaranjado o anaranjado rojizo, tiene un espesor de 4-6 mm. y constituye entre el 10-21% del fruto; el endocarpo es una lámina delgada de color blanco. La semilla, 1-2 por fruto, es subglobosa, sólida y con albumen blanco; constituye el 40-44,5% del fruto.

El uso principal del fruto es en alimentación directa humana. El fruto maduro se ablanda en agua, las escamas se eliminan y se extrae el mesocarpo. Las bebidas de aguaje se preparan diluyendo el mesocarpo, en agua con azúcar o sometiendo a fermentación; el mesocarpo también puede deshidratarse y reconstituirse para bebidas. El consumo tradicional del aguaje, es masticando directamente el mesocarpo del fruto. Otros productos que se obtienen del mesocarpo son harinas y aceite. (Flores, 2003).

4.2.1 Conservación y Valor Nutritivo.

Los frutos del aguaje son perecibles, cuando están maduros pueden conservarse sin deterioro hasta 7 días después de la cosecha.- El mesocarpo preparado en pasta puede conservarse en refrigeración o congelamiento; puede también deshidratarse y reconstituirse en bebidas. (Flores, 2003).

La pulpa del aguaje, es el alimento más nutritivo de los frutos del trópico.- El análisis químico y valor nutritivo de la pulpa se observa en la siguiente tabla:

Tabla N° 2. Componentes del Aguaje

Componentes	100 g de pulpa
Energía	283,0 kcal
Agua	53,6 g
Proteínas	3,0 g
Lípidos	21,1 g
Carbohidratos	18,1 g
Fibra	10,4 g
Ceniza	0,9 g
Calcio	74,0 mg
Fósforo	27,0 mg
Hierro	0,7 mg
Vitamina A (Retinol)	1062,0 mg
Tiamina	0,12 mg
Riboflabina	0,17 mg
Niacina	0,30 mg
Vitamina C (A. ascórbico)	26,0 mg

4.3 Secado por Atomizado:

El secado por atomización incluye tanto la formación de partículas como el secado. El alimento que se encuentra en estado líquido es transformado en gotas y luego en partículas secas mediante atomización continua en un medio caliente de secado. Similar al secado en lecho fluidizado, a la atomización súbita, a la atomización granular, a la atomización por aglomeración, a la atomización por absorción, el secado por atomización es una operación de procesado de partículas suspendidas (Master, 2001).

Un secador pulverizador crea un estado líquido muy disperso en una zona gaseosa a temperatura elevada. (Perry, 2001).

Las diferencias mas grandes entre el secado por atomización, secado en lecho fluidizado y secado súbito son las características del alimento (fluidido en la atomización frente a sólidos), tiempo de resistencia (5 a 100 s para la atomización frente a 1 a 300 min para lecho fluidizado) tamaño de partícula de 10 a 500 um para atomización frente 10 a 3000 um para lecho fluidizado (Barbosa, 2000).

El secado de alimentos líquidos se realiza a menudo en secaderos de pulverización. La eliminación del agua de un alimento líquido tiene lugar cuando el líquido se atomiza en el seno del aire caliente en la cámara de secado, mientras que las gotas son transportadas en la corriente de aire caliente, el agua se evapora y es arrastrado por el aire.

El secado por atomización (Spray Dry, pulverización, aspersión o rociada), es una operación unitaria de transferencia de masa y energía en la industria procesadora de alimentos (WARREN, 2002). Define a un atomizador como un secadero donde: “se dispersa una solución o suspensión en una corriente de gas caliente formando una niebla de gotas muy finas”.

La mayor parte del secado tiene lugar durante el periodo de velocidad constante y la etapa limitante es la transferencia de materia en la superficie de las gotas, una vez alcanzada la humedad critica, la estructura de la partícula es la causante de la disminución de velocidad de secado, siendo el parámetro limitante la difusión de la humedad en el interior de la partícula seca.

Una vez secas las partículas abandonan la cámara de secado y se separan del aire mediante un ciclón.

La humedad alcanzada suele ser inferior al 5% y el alimento seco debe almacenarse en recipientes estancos.

La calidad del producto suele ser excelente debido al efecto refrigerante del proceso de evaporación en la cámara de secado (Singh, 1998).

4.3.1 Secado de Alimentos.

El secado de los alimentos es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos. La utilización del sol para reducir el contenido de agua de un producto, es el procedimiento más ancestral y menos costoso de conservación.

Diversos autores indican que en el paleolítico hace 400000 años, se secaban al sol, alimentos, carnes y pescados especialmente. Hoy todavía se utiliza para el secado de frutas: higos (higos secos), uvas (pasa), melocotones (orejones), ciruelas (ciruelas pasa), etc.

La industria agroalimentaria utiliza la deshidratación como método de conservación de un gran número de productos, sin entrar en una relación exhaustiva debido a la evolución rápida y permanente de los posibles aplicaciones, se pueden citar: productos lácteos y derivados (leche en polvo instantánea, semi-productos en polvo para helados y postres), productos derivados de los cereales (alimentos para bebés con carne y frutas, harinas con frutas y miel, pastas, productos obtenidos de café, té, cacao, productos vegetales (purés de patata, forrajes, frutas secas).

Con la deshidratación de un producto se consigue un incremento de las posibilidades de conservación y una gran reducción de peso, hasta su quinta parte cuando se trata de raíces o tubérculos.

4.3.2 Curvas de Velocidad de Secado.

La eliminación del agua de un alimento se realizara normalmente en una serie de etapas diferenciadas entre si por la velocidad de secado, la etapa inicial (AB) ocurre conforme el producto y el agua en el contenida se calientan ligeramente. Posteriormente se produce una reducción importante del contenido en agua a velocidad de secado constante (BC); esta etapa tiene lugar a temperatura constante siendo esta la de bulbo húmedo del aire. En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de

secado constante finalizara al alcanzar la humedad critica; posteriormente existirán uno o varios periodos de velocidad de secado decreciente (CD). La humedad critica suele estar claramente identificada debido al cambio brusco de la pendiente en la curva de la velocidad de seco (Singh, 1998)

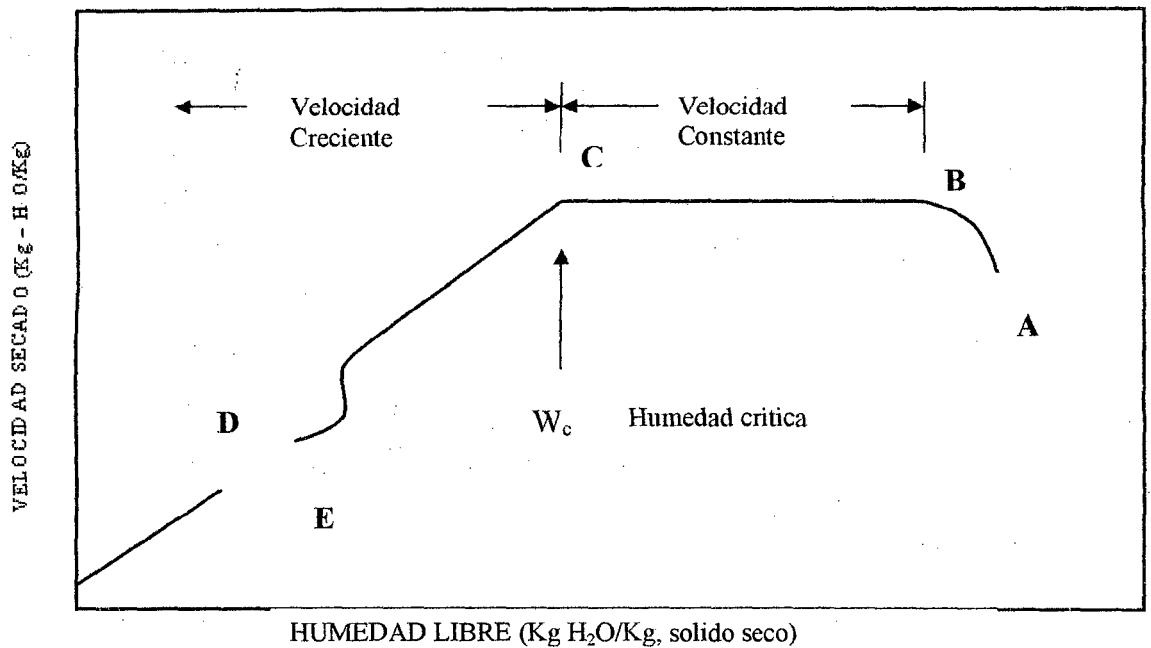


Figura N° 1. Representación de los periodos de secado en velocidad constante y decreciente.

4.3.3 Sistemas de Deshidratación.

Los métodos de secado se han desarrollado alrededor de los requerimientos específicos de cada producto. Por esta razón el proceso tiene lugar de muchas formas y se utilizan diferentes clases de equipos. En general la deshidratación se conduce según dos métodos básicos: proceso adiabático y no adiabático.

En el proceso adiabático el calor de vaporización es suministrado por el calor sensible del aire en contacto con el producto a secar. En el proceso

no adabático, el calor de la vaporización es aportado por el calor radiante o por el calor transferido a través de paredes en contacto con el material a secar.

En todos los métodos de deshidratación, el alimento a secar se debe poner en contacto con un medio, que con frecuencia es aire, para eliminar la humedad del producto y sus alrededores. Basándose en la influencia de la transferencia de materia y de la transmisión de calor, se deduce que el sistema de deshidratación más eficaz será aquel que mantenga los máximos valores posibles De los gradientes de presión de vapor y de temperatura entre el aire y el interior del producto a deshidratar.

La diversidad de productos alimenticios existentes ha llevado a desarrollar muchos tipos de secaderos para la industria alimentaria, que cumplen con las condiciones antes citadas junto con altos valores de los coeficientes de convección en la superficie del producto.

La selección de un tipo particular de secadero y por lo tanto de un método de secado, depende de una serie de factores entre los cuales se incluye la forma de las materias primas y sus propiedades, la forma física deseada y las características del producto, las condiciones necesarias de operación y los costes de la misma (Casp, 1999).

A continuación se exponen las principales características de estos sistemas de deshidratación y los diferentes tipos de secaderos:

Tabla N° 3: Alimentos y productos agrícolas y tipos de secaderos más adecuados.

PRODUCTO	TIPO DE SECADORES
Hortalizas, frutas, confitería	Bandejas y túnel
Forrajes, granos, hortalizas, frutas, nueces, cereales de desayuno	Cinta
Forrajes, granos, manzana, lactosa, estiércol de aves, Turba, almidón.	Rotativos
Café, leche, té, puré de frutas	Atomización
Leche, almidón, alimentos infantiles predigeridos, Sopas, productos de cervecería y destilería	Tambor
Almidón, pulpa de frutas, residuos de destilería	Neumático
Café, esencias, extractos de carne, frutas, hortalizas	Congelación y vacío
Hortalizas	Lecho fluidizado
Zumos	Foam Mat
Manzanas y algunas hortalizas	Horno

4.3.4 Equipo para secado.

A continuación se van a describir varios sistemas utilizados en deshidratación de alimentos

4.3.4.1 Secado en bandejas.

En el secador de bandejas que también se llama secador de anaqueles, de gabinete o de compartimientos, el material que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasa, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 a 100 mm de profundidad.

Un secador de bandejas típico tiene bandejas que se cargan y se descargan de un gabinete. Un ventilador circula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las bandejas.

También se usa calor eléctrico en especial cuando el calentamiento es bajo más o menos del 10 al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nueva y el resto es aire recirculado.

Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se emplazan por otras con más material para secado. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de las bandejas con carretillas donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo. Puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador.

En el caso de materiales granulares, el material se puede colocar sobre bandejas cuyo fondo es un tamiz. Entonces, con este secador de circulación cruzada, el aire pasa por lecho permeable y se obtienen tiempos de secado más cortos, debido a la mayor área superficial expuesta al aire.

4.3.4.2 Secadores indirectos al vacío con anaqueles.

Los secadores al vacío con anaqueles se calientan indirectamente y son el tipo de lotes, similares a los de las bandejas. Esta clase de secador consta de un gabinete construido de hierro colado o plancha de acero con puertas herméticas, de tal manera que se pueda operar al vacío. Los anaqueles huecos de acero se montan dentro de las cámaras y se conectan en paralelo, con los colectores de vapor de entrada y de salida.

Las bandejas que contienen los sólidos mojados se colocan sobre los anaqueles huecos. El calor se conduce a través de las paredes

metálicas y por radiación entre los anaqueles. Para operaciones a temperaturas a más bajas, se usa circulación de agua caliente en lugar de vapor para suministrar el calor que vaporiza la humedad. Los vapores se colectan en un condensador. Estos secadores se usan para secar materiales costosos o sensibles a la temperatura, o bien que se oxiden fácilmente. Son muy útiles para manejar materiales con disolventes tóxicos o valiosos.

4.3.4.3 Secadores continuos de túnel.

Los secadores continuos de túnel suelen ser compartimientos de bandejas o de carretillas que operan en serie. Los sólidos se colocan sobre bandejas o carretillas que se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja.

El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente, en paralelo o una combinación de ambos. Muchos alimentos se secan por este procedimiento.

4.3.4.4 Secadores rotatorios.

Un secador rotatorio consta de un cilindro hueco que gira por lo general, sobre su eje, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior y se desplazan por el cilindro a medida que éste gira.

El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes mediante un flujo a contracorriente. En algunos casos, el calentamiento por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro.

Las partículas granulares se desplazan hacia delante con lentitud y una distancia corta antes de caer a través de los gases calientes.

4.3.4.5 Secadores de tambor.

Un secador de tambor consta de un tambor de metal calentado, 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.

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 papas se procesa en secadores de tambor para obtener el material en forma de escama (Geankoplis, 1999).

4.3.4.6 Secado de cosecha y granos.

Los granos de una cosecha tienen aproximadamente de 30 a 35% de humedad y para poder almacenarlos sin problemas durante un año deben secarse hasta un 13% de humedad en peso

4.3.4.7 Secado por atomización.

El secado por atomización es una operación unitaria muy usada en la industria de procesado de alimentos (Barbosa, 2000).

Por definición, corresponde a la transformación de un fluido en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado en caliente. El principio del secado por aspersión es la producción de un polvo seco por medio de la atomización de

una emulsión en una corriente de aire caliente en una cámara de secado. El agua se evapora instantáneamente, permitiendo que el material activo presente en la emulsión, quede atrapado dentro de una película de material encapsulante. Una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (5 a 30 segundos).

Según Perry (2001), el funcionamiento de un secador pulverizador implica tres aspectos importantes:

- Atomización o pulverización.
- Mezcla del gas y el líquidos pulverizado.
- Dsecación de las gotas del líquido.

Según Barbosa (2000), básicamente un sistema de secado por atomización consta de:

- Calentador de aire.
- Cámara de secado.
- Sistema de pulverización de material en la cámara de secado.
- Sistema para preparar las partículas secas del aire.
- Uno o varios aparatos impulsadores de aire para hacerlo circular a través del sistema.

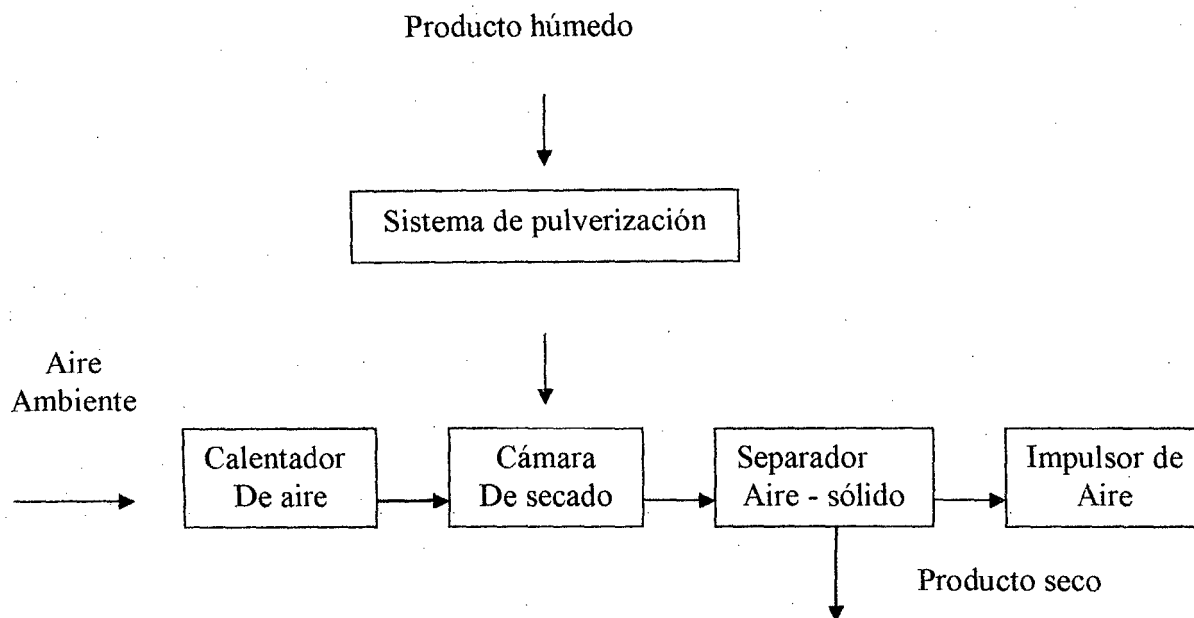


Figura 2: Diagrama de flujo de proceso por atomización.

El aire es calentado indirectamente mediante un intercambiador de calor, el calentamiento directo con gas o gasolina puede contaminar el alimento con residuos de combustión, dando sabores y aromas extraños.

La principal función de la cámara de secado es el de provocar una mezcla íntima entre el aire caliente y el alimento finamente disperso de manera que se obtenga un producto con unas características deseadas.

La cámara de secado puede tener una caja de forma horizontal o torre alta vertical, puede ser relativamente simple o extremadamente compleja, según los modelos de flujos para el aire y el alimento.

La pulverización genera pequeñas gotas que crean una gran superficie para la evaporación del agua. Además, el pulverizador

sirve para controlar la velocidad de flujo de entrada del producto en el secador. Los tres tipos de aspersores mas utilizados son los discos centrífugos, las boquillas de presión y las boquillas de fluidos.

Café, huevos, leche, sopas y alimentos para niños son productos en la que se utilizan este tipo de secado. Pueden ser soluciones, suspensiones o pastas, obteniéndose un producto final en forma de polvo con unas propiedades físicas que son función de diseño y forma de operar del secador (Barbosa, 2000)

Según Casp (1999), el método de secado por atomización es el más importante para secar productos líquidos. Por definición es la transformación de una alimentación en estado fluido a una forma seca por atomización en un medio caliente. Se basa en la evaporación rápida del disolvente por pulverización del producto a secar en el seno de una corriente de gas caliente.

Las partes esenciales de un equipo de secado por atomización son:

- a. Sistema calentador del aire.
- b. Sistema de atomización del producto liquido.
- c. Cámara de secado.
- d. Sistema de separación de polvo
- e. Sistema de impulsión del aire.

a. Sistema de Calefacción del Aire.

Se sitúa entre la cámara y el ventilador que impulsa el aire y está diseñado para alcanzar la temperatura deseada (que puede estar comprendida entre 90 y 650 °C). El ventilador debe ser suficientemente potente para proporcionar al aire de la cámara la velocidad requerida, corrientemente de 15 a 30 m/s, (Ranken, 1993).

El aire puede calentarse:

- ✓ Por combustión directa de un gas fuel-oil en el seno de la corriente de aire. Que si bien proporciona el máximo rendimiento no se utiliza en la alimentación pues los productos pueden contaminarse o adquirir sabores y olores extraños.
- ✓ En cambiadores de calor con vapor de agua a presión, que es el proceso mas utilizado. Si se requieren temperaturas muy elevadas es mas económico recurrir a quemadores especiales de aceite, donde el aire se calienta indirectamente. Este sistema de gran eficiencia térmica es muy utilizado en industrias lácteas.
- ✓ Por resistencia eléctricas, sistemas que se reserva para su uso en instalaciones de pequeña capacidad o piloto. (Casp y Abril, 1999).

b. Sistemas de Dispersión.

El objetivo de los sistemas de dispersión es transformar el alimento líquido en un gran número de finas gotitas de una distribución de tamaños bien definidos.

Industrialmente existen tres sistemas de dispersión o atomización. (Casp y Abril, 1999)

- **Boquillas o toberas de alta presión.** El líquido pasa a gran presión (800-2400 KPa) a través de un estrecho orificio y forma una aspersión de partículas finas: 180-250 μm .
- **Discos rotativos de alta velocidad.** La atomización se logra bombeando el líquido a un disco giratorio (150 – 350 mm de diámetro, 15000 rpm). Se caracteriza por lograr una

aspersión de gotas pequeñas y muy uniformes (50-60 μm). El tamaño de las gotas depende de las características del líquido (viscosidad y tensión superficial) y de la velocidad de giro del disco.

- **Toberas de dos fluidos.** El líquido se bombea a baja presión, tan solo para inducir su movimiento, introduciéndose al mismo tiempo un chorro de aire comprimido que provoca una fuerte turbulencia y la atomización deseada del líquido.

c. Cámara de Secado.

La cámara de secado adopta diferentes formas, y en ellas se trata de conseguir la mezcla íntima del aire caliente con las gotas finamente dispersas del producto a secar. (Casp y Abril, 1999). Las cámaras para productos alimenticios generalmente están recubiertas de aluminio o de acero inoxidable y son de superficie fina. Sus dimensiones, especialmente de diámetro, tienen gran importancia. Para un grado dado de atomización el diámetro debe ser suficientemente grande para asegurar que las gotas no choquen con la antes de estar secas y por otra parte que no sea tan grande como para la atomización y el flujo paralelo de gas caliente no estén bajo control, asegurando, por lo tanto, una interacción uniforme entre el aire y las partículas. (Ranken, 1993).

Las cámaras de secado se clasifican según las direcciones de los flujos de aire y producto:

Horizontal paralelo

Vertical paralelo descendente de flujo lineal de aire

Vertical paralelo descendente de flujo helicoidal de aire

Vertical paralelo ascendente
Vertical en contracorriente.

**NO SALE A
DOMICILIO**

Los dispositivos de circulación en paralelo son los más utilizados por su concepción sencilla y polivalencia. En ellos la mayor parte del agua se evapora cerca del sistema de dispersión del alimento líquido, por lo que el aire se enfría rápidamente, las paredes permanecen frías y el producto se deshidrata completamente.

d. Sistemas De Separación Del Polvo.

A pesar del cuidadoso diseño de los sistemas de dispersión, es inevitable la formación de un amplio espectro de partículas de distintos diámetros. En los sistemas modernos se produce una separación parcial en la cámara de secado, la fracción del polvo constituida por las partículas de gran tamaño sedimenta en el fondo de la misma de donde se retira por un mecanismo adecuado. El aire que sale contiene entre un 5-50% de polvo producido (dependiendo del producto), a esta parte del polvo se le conoce como finos y está compuesta por la fracción de tamaño más pequeño.

La separación de los polvos finos se realiza con separadores de dos tipos: Ciclón y saco.

- **Colector Ciclónico O Ciclón:**

Es un separador centrífugo de polvo, de forma cónica en el que el chorro de aire que contiene el polvo entra tangencialmente por la parte superior, gira en forma helicoidal descendente y finalmente ascendente por el centro y sale al exterior.



El polvo es arrastrado por el aire es lanzado, por la acción de la fuerza centrífuga, contra las paredes del ciclón, donde debido al rozamiento pierde su energía cinética y cae al fondo del mismo, de donde se retira continuamente por medio de dispositivos especiales. La eficiencia de la separación del ciclón depende de muchos factores, tales como el tipo de producto, tipo de proceso y tamaño y parámetros de diseño del ciclón. El ciclón es el separador primario más utilizado (Casp y Abril, 1999).

- **Separador Tipo Saco:**

Son filtros de tejido burdo que retienen el polvo. Normalmente se requieren varios filtros de este tipo, en serie o en paralelo, montados en una cabina especial. Los separadores tipo saco pueden ser utilizados como separadores de polvo primario o secundario, aunque esta última opción es la más común, especialmente en instalaciones situadas en zonas pobladas, donde se requiere un estricto control de la polución ambiental. (Casp y Abril, 1999)

El estado por atomización está casi restringido al caso de líquidos como suspensiones, emulsiones, soluciones coloidales o verdaderas, etc, en este campo es aplicable para una amplia gama de productos, pero no existe un diseño estandarizado común a todos ellos, cada producto se trata individualmente y el secadero se diseña siguiendo las especificaciones del producto en cuestión.

Los productos más difíciles de secar por atomización son aquellos en que los sólidos totales contienen poco soporte celulósico pamiláceo y contienen azúcares o componentes que produzcan sólidos higroscópicos.

Actualmente el 80% de los equipos industriales en uso se dedican a la deshidratación de la leche y derivados lácteos y el 20% restante casi por completo a la deshidratación de café, huevos, tomate y glucosa.

Las principales ventajas son que el proceso se realiza de forma continua, y se puede automatizar completamente. Presenta las desventajas de la poca versatilidad del equipo. Sin embargo su estrecho rango de aplicación de productos hace mejorar su eficiencia y su calidad de producto final (Barbosa, 2000).

4.3.5 Ventajas del secado por atomización.

En general, una de las ventajas principales es el corto tiempo de secado, que permite el secado de materiales altamente sensible al calor, y la producción de partículas esféricas huecas que no suelen obtenerse por ningún otro método.

Las especificaciones de los polvos permanecen constantes a lo largo del secadero cuando las condiciones de secado son constantes.

Es una operación de secado continuo fácil y se puede adaptar a un control automático completo.

Existe un amplio intervalo de diseño de secaderos que se pueden aplicar a materiales sensibles al calor, corrosivos abrasivos.

Evita decoloración, oxidación, descomposición, pérdida de aroma y desnaturalización proteica, cuando se calienta mas tiempo que el mínimo necesario.

Produce a partir de una solución, suspensión o pasta delgada, en una sola etapa, un producto que se puede envasar muy fácil.

Combina las funciones de un evaporador, un cristalizador, un secador, una unidad de reducción de tamaño y un clasificador.

4.3.6 Desventajas del secado por atomización.

Las desventajas más grandes de los atomizadores son los costos de instalación, eficacia térmica, calor residual y manejo de aire agotado en condiciones de saturación o cercanas a ellas (Master, 2001).

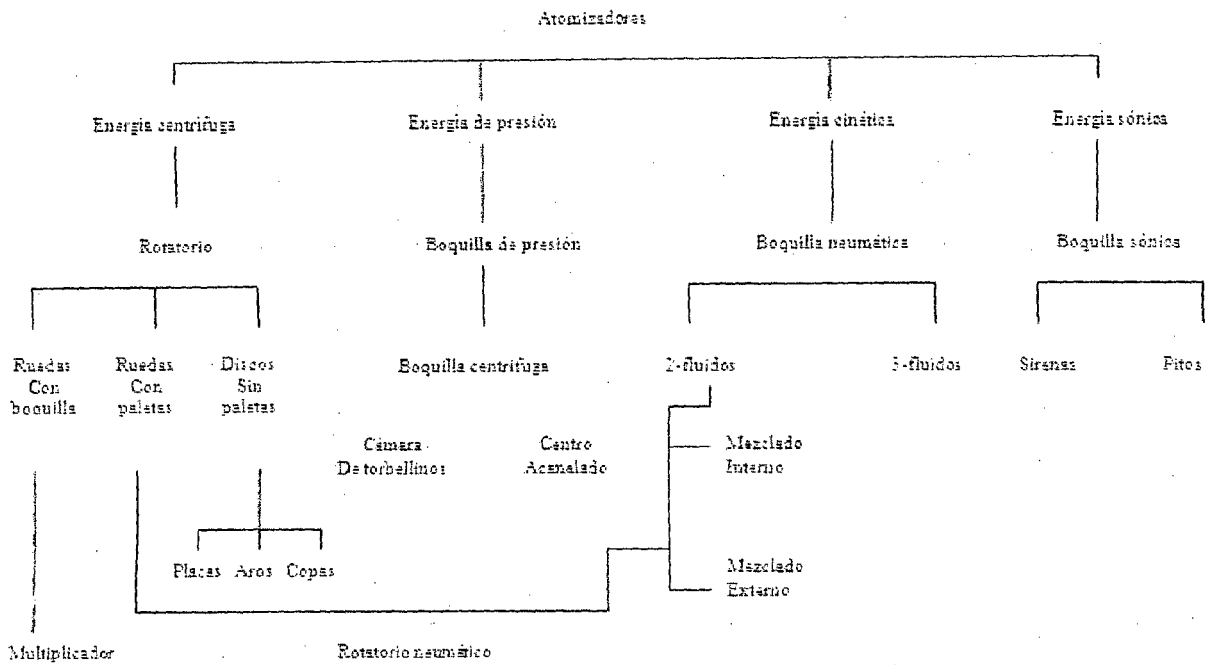
Los atomizadores son de gran tamaño, con frecuencia de 25 m o más de altura, y no siempre resultan una operación sencilla.

La densidad global del sólido seco (una propiedad de mucha importancia para productos envasados) con frecuencia es difícil de mantener constante, ya que tal vez resulte muy sensible a variaciones en el contenido de sólidos en la alimentación, a la temperatura de entrada del gas y a otras variables. (Warren, 2002).

4.3.7 Clasificación de atomizadores.

La característica más importante de la atomización es la formación de gotas y el contacto de éstas con el aire. La etapa de atomización produce un rocío para una condición óptima de evaporación y por consiguiente un producto con características técnicas. La atomización resulta de la rotura del seno del líquido en pequeñas gotas y las diferentes técnicas de atomización varían de acuerdo al tipo de energía utilizado para producir las gotas. La clasificación de los atomizadores usados en el secado se resume en la figura N° 02 (Barbosa y Vega, 2000).

Figura 3: Clasificación de Atomizadores



4.3.7.1 Atomizadores neumáticos — dos fluidos

La atomización del líquido utilizando una alta velocidad del gas es conocida como atomización neumática. El mecanismo involucra una alta velocidad del gas que permita crear fuerzas de fricción elevadas, lo que causa la rotura del disco en gotas. La formación de gotas tiene lugar en dos etapas: primero el líquido se rompe en filamentos y largas gotas, después los filamentos de líquido y las gotas grandes se rompen dando gotas pequeñas.

Este proceso de formación de gotas se ve afectado por las propiedades del líquido (tensión superficial, densidad y viscosidad), así como por las de flujo de gas velocidad y densidad (Barbosa, 2000).

La atomización neumática utiliza como medio gaseoso primario aire y vapor. En el caso de ciclos cerrados se suelen utilizar gases inertes. Las condiciones de proceso para las condiciones de fricción óptimas requieren elevadas velocidades entre el aire y el líquido.

Los atomizadores de este tipo se clasifican en mezcladeros exteriores o interiores. Un ejemplo de los primeros consiste en la incidencia de un chorro horizontal de aire comprimido sobre una corriente de un líquido que sale lentamente de un tubo vertical.

El último tipo se encuentra en muchas aplicaciones familiares. Como las pistolas para pulverizar pinturas, los pulverizadores de perfumes, en general un mezclador interior dará una distribución de tamaños de partículas más uniforme que un mezclador exterior.

4.3.7.2 Inyectores de Presión.

Los inyectores de presión se utilizan para obtener polvos con tamaño grueso de partícula (120 a 300 μm). Variando la presión es posible controlar el flujo de alimentación y las características de la atomización, donde esta última es inversamente proporcional al flujo del alimento y a su viscosidad. La transferencia de energía es muy poco eficiente en la atomización por inyección (Barbosa, 2000).

Según Cast (1999), la energía de presión suministrada por bombas de alta presión se convierte en energía cinética. Se basan por tanto en la impulsión del líquido a secar presiones de 10 a 60 bar a través de boquillas.

El principio fundamental de este tipo de inyectores es la conversión de la energía aplicada en la presión a energía cinética. Operan a una carga superior, y dan gotitas mayores y mas uniformes que en el caso de la esprea con dos fluidos. La esprea produce un movimiento tangencial de alta velocidad dentro del líquido que se va a rociar. La fuerza centrifuga resultante hace que el liquido haga remolinos alrededor de la circunferencia del agujero de la esprea, formando un corazón de aire a lo largo del eje del agujero. El fluido gira entonces hacia fuera, formando un cono hueco el cual se rompe finalmente en gotitas. Variado la presión es posible controlar el flujo de alimentación y las características de la atomización, donde esta última es inversamente proporcional al flujo del alimento y su viscosidad.

La configuración de los inyectores deben presentar las siguientes condiciones: fácil acceso para sacar los inyectores, uniformidad de distribución, posibilidad de aislamiento y visibilidad de cada inyector.

Según Cast (1999), la boquilla consta en esencia de un pequeño tubo provisto de un orificio especial. El tubo imparte al líquido un movimiento en espiral y éste sale del orificio en una fina niebla en forma de cono. La presión de impulsión del tamaño do orificio y de la velocidad de alimentación. Las bombas de alimentación son del tipo de engranajes, para presiones bajas, y de pistón doble para presiones elevadas.

Con el fin de proporcionar los rendimientos adecuados y trabajar con suspensiones de distinta naturaleza, pueden utilizarse boquillas intercambiables con orificios de diferentes tamaños. Este sistema es poco polivalente, ya que cada boquilla sólo es adecuada para un producto de viscosidad y estructura constantes

y determinadas. Las boquillas de presión son extremadamente sensibles a los problemas de erosión.

La conservación de las toberas que trabajan a altas presiones es siempre un problema difícil, ya que se desgastan inevitablemente, incluso cuando están provistos de emboquillados sumamente duros y una vez que el orificio se raya y deja de ser uniforme, no es posible realizar ya una buena atomización.

Análogamente las incrustaciones y las obstrucciones provocadas por partículas de materias extrañas son causa de frecuentes averías. Bombas de embolo suministrar los líquidos a presión elevada, el desgaste de sus válvulas presenta otro problema de conservación.

Las características de pulverización de las toberas a presión dependen de la presión y del tamaño del orificio de la boquilla. La presión afecta no sólo a las características de pulverización sino también a la capacidad.

Si se desea reducir la cantidad de líquido pulverizado disminuyendo la presión, es posible que las gotitas sean de tamaño mayor al deseado. Para corregir este inconveniente puede ponerse un emboquillado con orificio de menor diámetro, pero esto requiere presión más alta para obtener la capacidad deseada y quizá producir una rociada más fina de lo necesario.

El empleo de múltiples boquillas contribuye a superar estas características inflexibles de la atomización a presión, aunque la presencia de varias boquillas en un secador complica el diseño de la cámara y el patrón o forma de la circulación del aire y da lugar a choques entre las partículas, resultando poco uniforme el rocío y tamaño desiguales de las partículas (Perry, 2001).

4.3.7.3 Atomizadores rotatorios.

Los atomizadores rotatorios difieren de los inyectores de presión en el que el líquido consigue su velocidad sin alta presión, La velocidad de presión puede ser controlada por discos, mientras que en el caso de inyectores, tanto la caída de presión como el diámetro del orificio cambian simultáneamente

Según Cast (1999), los rodets centrífugos es la acción de la fuerza centrífuga se superpone a un efecto del choque del líquido y separación de este en el interior del rotor.

El rodete es un disco parcialmente cerrado que gira alrededor de su eje de simetría. El producto entra por la pared central y es acelerado por la fuerza centrífuga a través de los conductos hasta la periferia.

Estos conductos son usualmente radiales, de forma cilíndrica o rectangular. En algunos casos estos conductos presentan curvatura, para eliminar las burbujas de aire. Los atomizadores rotativos trabajan con una velocidad periférica de 100 – 200 m/s.

Los rodets o discos centrífugos varían ampliamente en tamaño y velocidad de giro. La mayor parte de los discos centrífugos presentan un tamaño comprendido entre 15 y 35 cm. de diámetro, y se utilizan a velocidades de entre 5 000 y 25 000 rpm. Las propiedades del producto final están controladas por la velocidad de rotación del disco.

Los rodets centrífugos tienen la ventaja de ser polivalentes y permiten la dispersión satisfactoria de líquidos viscosos y heterogéneos. No presentan problemas de obstrucción provocados por los sólidos en suspensión. La granulometría del polvo puede regularse fácilmente, en el curso del secado,

modificando la velocidad de giro y la concentración del producto alimentado.

Según Perry (2001), Los discos centrífugos pulverizan los líquidos extendiéndolos en láminas muy delgadas lanzadas a alta velocidad desde la periferia del disco, construido especialmente para girar rápidamente. Los principales objetivos de la construcción de estos discos son asegurarse que el líquido alcanzará la velocidad de los mismos y el obtener una distribución de tamaño uniforme de las gotas en el líquido atomizado. El diámetro de los discos varía entre 5 cm en los modelos pequeños de laboratorio y 30.5 a 36 cm en los secaderos de fábricas. En un modelo se usa una rueda de 81 cm con el líquido fluyendo por los radios de las ruedas hacia la periferia.

Las velocidades de los discos varían entre 3 000 y 50 000 rpm, las altas suelen emplearse en los secaderos de pequeño diámetro; las usuales en los secaderos de las fábricas son de 3 600 a 12 000 rpm, según el diámetro del disco y el grado de pulverización deseado. Se cree que dicho grado, como función de la velocidad del disco, es afectado por el producto del diámetro de éste y su velocidad, es decir por la velocidad periférica, en lugar del angular. Así un disco de 13 cm, trabajando a 30 000 rpm es de esperar que pulverice más finamente que otro de 5 cm. del mismo modelo, girando a 50 000 rpm.

La pulverización por medios de discos centrífugos presenta especiales ventajas en el atomizado de suspensiones y pastas que degustarían y obstruirían las boquillas. Se manejan con ellos pastas muy espesas si se emplean bombas de presión positiva para alimentarlos. Los discos pueden funcionar dentro de amplios límites de velocidad y de intensidad de alimentación sin producir un material demasiado diferente.

Sin embargo las loberas o boquillas tienen que trabajar en condiciones perfectamente fijas para dar un producto especificado a una capacidad dada.

Los discos centrífugos son impulsados, mediante correa o por acoplamiento directo, por un motor eléctrico de alta velocidad conectado a un cambiador de frecuencia, o bien por una turbina de vapor. En los momentos de laboratorio se emplean turbinas de aire. La impulsión directa por motor eléctrico parece ofrecer ventajas cuando se necesitan velocidades muy grandes y cuando es necesario regular con precisión las variaciones de la velocidad.

Sin embargo los discos de impulsión directa exigen montajes del motor de construcción especial para poder trabajar en zonas con gases calientes y permitir además la alimentación del líquido al disco. Estos motores exigen una lubricación positiva, con sistemas especiales para cambiar el aceite de los cojinetes que impidan la contaminación del producto.

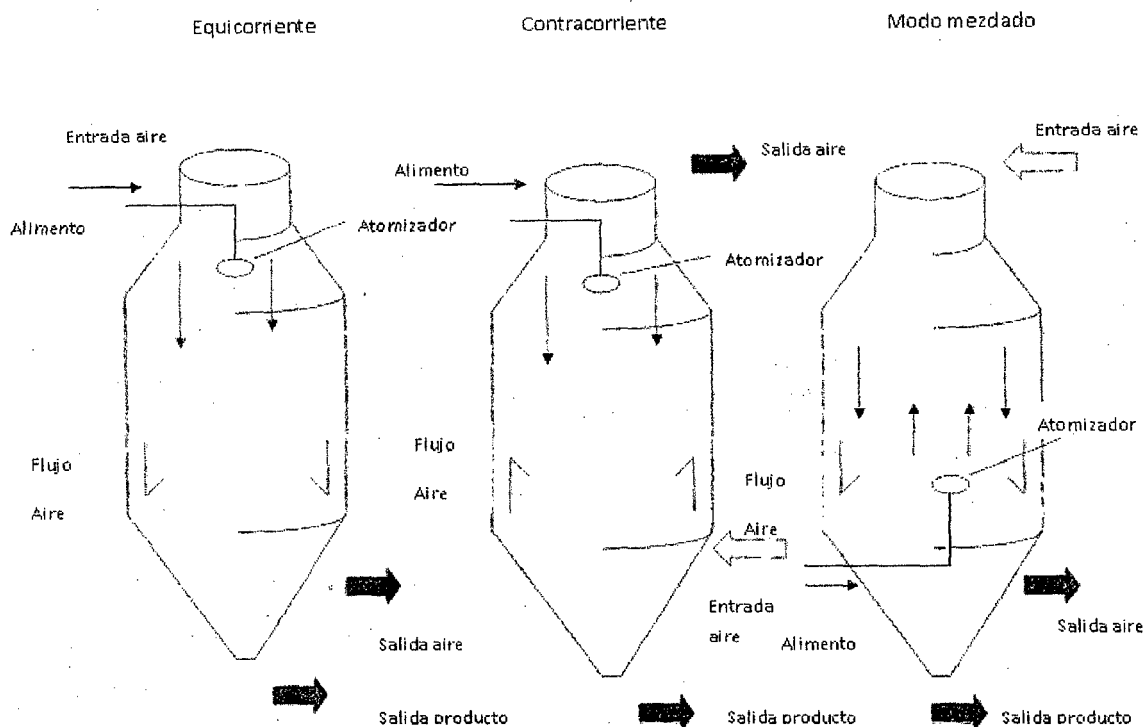
4.3.8 Interacción entre las gotas y el aire de secado

La distancia que recorre una gota hasta que se ve afectada por completo por el aire depende del tamaño de la misma, forma y densidad.

Los atomizadores ordinarios son más independientes del flujo de aire mientras que en los atomizadores finos debe considerarse el flujo de aire (Masters, 2001).

El movimiento de la atomización se puede clasificar de acuerdo al diseño del secadero como equicorriente, contracorriente o flujo mezclado como se muestra en la figura 4.

Figura N° 4. Clasificación de secaderos según el movimiento de atomización.



4.3.9 Fenomenología Del Proceso De Atomización.

La eliminación de agua de un alimento supone el transporte simultáneo de materia y calor. La transmisión de calor tiene lugar en el interior de alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación el vapor generado se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste.

El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste.

Estos flujos de materia y calor en el interior del alimento tienen lugar a

nivel molecular el calor transmitido depende de la conductividad térmica del alimento mientras que el flujo del agua será proporcional a la difusión molecular del vapor de agua en el aire.

En la superficie del producto tienen lugar simultáneamente los transportes de materia y calor, controlados por mecanismos convectivos. El transporte de vapor desde la superficie del alimento al aire exterior es función de la presión de vapor mientras que la transmisión de calor desde el aire hacia el alimento depende del gradiente de temperatura.

Es necesario tener en cuenta los cuatro procesos de transporte citados, pues la velocidad de secado será proporcional al más lento de ellos. En la mayoría de los productos los limitantes serán los transportes de materia y calor en el interior del alimento (Singh, 1998).

Según Singh (1998), el secado de alimentos líquidos se realiza a menudo en secaderos de pulverización. La eliminación del agua de un alimento líquido tiene lugar cuando el líquido se atomiza en el seno del aire caliente en la cámara de secado. Mientras las gotas de líquido son transportadas en la corriente de aire caliente, el agua se evapora y es arrastrada por el aire.

La mayor parte del secado tiene lugar durante del período de velocidad constante y la etapa limitante es la transferencia de materia en la superficie de las gotas. Una vez alcanzada la humedad crítica, la estructura de la partícula es la causante de la disminución de velocidad de secado, siendo el parámetro limitante la difusión de la humedad en el interior de la partícula seca. (Singh, 1998)

La evaporación desde la superficie de las gotas conduce a la deposición inicial de soluto en la superficie antes que el interior de la gota alcance la saturación. La velocidad de difusión del soluto hacia el interior de la gota es menor que el flujo de agua desde el interior hacia la superficie, de tal forma que todo el soluto se acumula en la superficie. Las partículas secas finales por lo general están huecas y el producto que se obtiene en un secador de pulverización es muy poroso, (Warren, 2002).

4.3.10 Balance de materia y calor.

En el secado de alimentos por atomización el líquido que debe ser eliminado casi siempre es agua, aunque la eliminación de disolventes orgánicos en operaciones de ciclo cerrado es también usual. Si se tiene un sistema como el mostrado en la Figura 5, los balances de calor y materia que se realizan conducirán a las siguientes ecuaciones.

$$F_s W_1 + G_a H_{a1} = F_s W_{s2} + G_a H_{a2} \quad (1)$$

$$F_s (W_{s1} + W_{s2}) = G_a (H_{a2} + H_{a1}) \quad (2)$$

Donde F, es el flujo de sólido seco, w_{s1} el contenido de humedad del sólido que entra al secadero, w_{s2} la humedad del sólido que abandona el secadero, G_a el flujo de aire seco, H_{a1} la humedad del aire que entra al secadero y H_{a2} el contenido de humedad del aire que sale del secadero.

$$F_s q_{s1} + G_a q_{a1} = F_s q_{s2} + G_a q_{a2} + q_L \quad (3)$$

En la q_{s1} y q_{s2} son las entalpías del sólido al entrada y salida del secadero, respectivamente, mientras q_{a1} y q_{a2} son las entalpías del aire a la entrada y salida del secadero y q_L , son las pérdidas de calor

El rendimiento de un secado por atomización se mide en términos de eficiencia térmica, la cual está relacionada con la entrada de calor requerida para producir una unidad en peso del producto seco con las especificaciones deseadas.

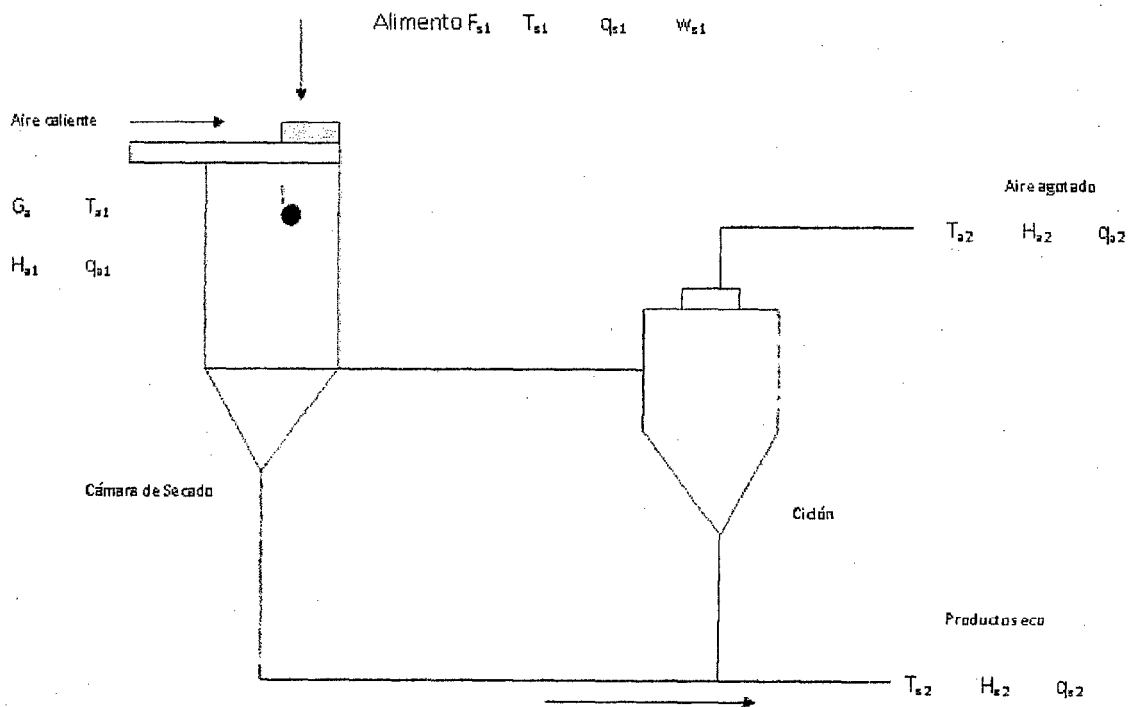
La eficiencia térmica global (Φ global) se define como la fracción del calor total suministrado a la usada en el secadero en el proceso de evaporación.

$$\Phi_{global} = 100 \frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 - T_0)} \quad (4)$$

donde T_1 es la temperatura del aire caliente al entrada, T_2 a la correspondiente a la salida y T_0 la temperatura del aire atmosférico, la eficiencia de la evaporación ϕ global se define como la razón de la capacidad actual de evaporación a la capacidad obtenida en un caso ideal de agotamiento de aire a la temperatura de saturación.

$$\Phi_{evaporación} = 100 \frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 - T_{sat})} \quad (5)$$

Figura N° 5. Diagrama de flujo de secado por atomización.



4.3.11 Transferencia de materia y calor.

La eliminación de agua de un alimento supone el transporte simultáneo de materia y calor. La transmisión de calor tiene lugar en el interior de alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación el vapor generado se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste.

El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste.

Estos flujos de materia y calor en el interior del alimento tienen lugar a nivel molecular el calor transmitido depende de la conductividad térmica del alimento mientras que el flujo del agua será proporcional a la difusión molecular del vapor de agua en el aire.

En la superficie del producto tienen lugar simultáneamente los transportes de materia y calor, controlados por mecanismos convectivos. El transporte de vapor desde la superficie del alimento al aire exterior es función de la presión de vapor mientras que la transmisión de calor desde el aire hacia el alimento depende del gradiente de temperatura.

Es necesario tener en cuenta los cuatro procesos de transporte citados, pues la velocidad de secado será proporcional al más lento de ellos. En la mayoría de los productos los limitantes serán los transportes de materia y calor en el interior del alimento (Singh, 1998).

Según Singh (1998), el secado de alimentos líquidos se realiza a menudo en secadero de pulverización. La eliminación del agua de un alimento líquido tiene lugar cuando el líquido se atomiza en el serio del aire caliente en la cámara de secado. Mientras las gotas de líquido son

transportadas en la corriente de aire caliente, el agua se evapora y es arrastrada por el aire.

La mayor parte del secado tiene lugar durante del período de velocidad constante y la etapa limitante es la transferencia de materia en la superficie de las gotas. Una vez alcanzada la humedad crítica, la estructura de la partícula es la causante de la disminución de velocidad de secado, siendo el parámetro limitante la difusión de la humedad en el interior de la partícula seca.

4.3.12 Secado de gotas.

La etapa más importante de la operación de la atomización es la formación de gotas, el intercambio de materia y calor empieza justo después de realizada la pulverización y continúa mientras la gota está en el seno del aire caliente, la gota, que consta de agua y sólidos en la misma proporción como el alimento líquido, empieza a perder agua en forma de vapor y así empieza la formación de una partícula.

Al final de la etapa de secado dentro del atomizador la partícula está completamente formada, principalmente con sólidos.

4.3.12.1 Gotas de líquido puro.

El calor para la evaporación se transmite por conducción y convección a la gota mientras se mueve en la corriente de aire y el vapor de agua se transfiere por difusión y convección desde la gota. La velocidad de transferencia de materia y calor es función de la temperatura del aire, humedad, diámetro de la gota, velocidad relativa y tipo de sólidos en el líquido.

4.3.12.2 Gotas con sólidos disueltos.

La velocidad de evaporación en gotas que contiene sólidos disueltos es más baja que en gotas de líquidos puros. La presencia de sólidos en la gota provoca un descenso en la presión de vapor del líquido (Masters, 1991). Este descenso de

la presión de vapor causa un aumento en la temperatura de la gota por encima de la temperatura de bulbo húmedo.

4.3.12.3 Gotas con sólidos insolubles.

Las pastas son un ejemplo de producto con sólidos insolubles que se dice tienen un efecto despreciable en la presión del vapor del agua. La temperatura de la gota se puede expresar como igual a la temperatura de bulbo húmedo de gotas de líquido puro durante el periodo de velocidad constante.

4.3.13 Microestructura de los productos atomizados.

Las características de las formas de los productos atomizados dependen de si la temperatura del aire del secado está sobre o por debajo del punto de ebullición de las gotas, como se muestra en la Figura 6. Las partículas pueden ser rígidas y porosas, rígidas con fracturas flexibles, plásticos no porosos y esponjosos o cristalinos, entre otras.

La densidad global de los productos atomizados puede aumentar con el aumento de la velocidad de alimentación, temperatura de productos de difícil atomización, temperatura de los polvos, contenido en sólidos, temperatura de salida del aire atomización en atomizador o la utilización de configuración en contracorriente.

Mientras que la densidad global aumentará con el aumento de la temperatura alimentos de fácil atomización, aumento en la temperatura de entrada del aire, atomización de partículas homogéneas de tamaño grueso, aireación del alimento o utilización de una configuración equicorriente.

4.3.14 Distribución de los tamaños de las partículas.

La distribución de tamaños de partículas obtenida por cualquiera de los métodos anteriores de atomización depende de varios factores. No se han publicado datos que comparen los tres métodos para un grupo dado de condiciones, aunque se cree en general, que los atomizadores de disco centrífugo dan tamaños más uniformes de las partículas, siguiéndoles la de tobera a presión y finalmente la tobera de dos fluidos.

En general la distribución de tamaños dependerá del diseño del atomizador, de las propiedades del líquido y del grado de pulverización o de los tamaños de partículas que intervienen.

Sí se intenta producir la atomización más fina posible, nos aproximaremos a una condición límite y el tamaño de las partículas variará entre límites muy próximos, cualquiera que sea el método de pulverización empleado.

Esto se verifica en las boquillas a presión en las cuales la uniformidad de los tamaños aumenta con la presión. Por otro lado, en la producción de un material grueso con un porcentaje elevado de partículas grandes, el método de atomización influirá mucho sobre la distribución del tamaño de partícula. Se obtienen frecuentemente partículas gruesas uniformes con discos centrífugos de diseño apropiado (Perry, 1986).

4.3.15 Propiedades físicas globales de los materiales secados por atomización.

Estas propiedades pueden sufrir considerables variaciones, dependiendo de la dirección de la circulación del gas entrante y de su temperatura, del grado de y la uniformidad de la pulverización, el contenido de sólidos en la alimentación, la temperatura de ésta y el grado de aireación de la misma.

Las propiedades del producto por lo general más interesantes son las siguientes:

- El tamaño de la partícula
- La densidad global o a granel
- El contenido de polvo.

En general la humedad final requerida se obtiene más o menos fácilmente.

4.3.15.1 El tamaño de la partícula.

Varía en razón inversa de la velocidad de las lóberas, pero hay que determinar la fórmula exacta entre las variables. Se ha sugerido que existen velocidades y presiones máximas por encima de los cuales es inútil gastar energía adicional.

El tamaño de la partícula es también función del contenido de sólidos de la viscosidad del líquido, de la densidad del mismo y de la intensidad de alimentación o de la capacidad.

En general el tamaño de las partículas crece cuando aumentan el contenido de sólidos, la viscosidad, la densidad y el gasto de la alimentación.

4.3.15.2 La densidad global o a granel.

La densidad global o a granel de los materiales secados por atomización es una propiedad crítica, que puede sufrir considerablemente fluctuaciones si se varía alguna de las condiciones anteriores. La importancia de la densidad global o en masa en los costos de empaquetados se acentúa muchísimo si, por ejemplo, algún cambio en el material líquido alimentado o en las condiciones en que se realiza la desecación reduce la densidad del producto a la mitad.

La densidad global de los materiales secados por pulverización se aumenta frecuentemente como sigue:

- a. Aumentando el contenido de sólidos del líquido alimentado.
- b. Disminuyendo la temperatura del gas entrante.
- c. Haciendo circular el gas a contracorriente en lugar de paralelamente.
- d. Desaireando el líquido alimentado.
- e. Aplastando las partículas huecas.
- f. Utilizando límites extensos en la distribución por tamaños.
- g. Por medio de una fina pulverización.
- h. O utilizando ciertos aditivos, cuando sea posible.

En general, lo opuesto a estas indicaciones se aplica para disminuir la densidad global del material secado por pulverización.

4.3.15.3 El contenido de polvo.

El colector puede trabajar seco con un separador ordinario de polvo. En muchas operaciones es ventajoso que funcione el separador de polvo como un colector húmedo, en el cual el líquido diluido introducido en el secador se hace circular primero por el colector, por dos razones:

- a. lavar los gases de los sólidos arrastrados y por consiguiente recuperarlos.
- b. concentrar previamente el material alimentado por humedecimiento de los gases salientes, lo que deja el sistema a relativamente pocos grados del punto de rocío.

Puede aumentarse la capacidad instalando un calentador tubular de vapor por el cual se hace circular el líquido en el sistema colector húmedo. Las pérdidas totales en la operación por arrastre, cuando se usa un colector húmedo, son insignificantes (Perry, 2001).

4.3.16 Reconstitución de productos atomizados

Las propiedades instantáneas de los productos atomizados incluyen en la capacidad del polvo de disolverse en agua cada partícula debe ser humedecida sumergida y disuelta en el líquido.

Las propiedades tales como la humectabilidad, sumergibilidad, dispersabilidad y solubilidad son importantes en el proceso de reconstitución. Pisecky (1986) y Masters (1991) definen las propiedades como la siguiente:

- **Humectabilidad:** Esta es la capacidad de partícula de polvo para adsorber agua en su superficie. Es una propiedad funcional de los polvos y se ve afectada por el proceso de aglomeración, la cantidad de humectable disponible, superficie o ausencia razonable de partículas no aglomerables.
- **Sumergibilidad:** Esta es la capacidad de un polvo en agua después que ha sido humedecido. Es una propiedad funcional de los polvos y se ve afectada por la densidad de la partícula.

- **Dispersabilidad:** Esta es la capacidad de un polvo de ser distribuido a lo largo de agua sin formación de grumos. Es una propiedad funcional de los polvos. Los factores que afectan a ésta propiedad son la ausencia razonable de partículas con un tamaño superior a 250 μm o ausencia de aglomerados.
- **Solubilidad:** Esta es a velocidad de disolución o la solubilidad total, La ausencia de lunares y rápido hinchamiento de las partículas son factores que afectan a la solubilidad.

La transformación de partículas simples en aglomerados porosos se reconoce como proceso instantáneo (Masters, 2001).

Según CYTED (2002) El alimento en polvo es introducido a contracorriente con aire caliente a presión mientras se atomiza agua dentro de la cámara de aglomeración. La temperatura y cantidad de agua es controlada, así como la velocidad del aire para asegurar el mezclado completo a una distancia equidistante de la salida del polvo y del atomizador. Una vez aglomerado el polvo se pasa a la etapa de secado. Este proceso es utilizado, por ejemplo, para aglomerar leche baja en grasa.

La estructura porosa permite una entrada rápida del agua seguida de un hundimiento y la dispersión y disolución de los sólidos. El proceso de aglomeración cambia las características físicas de polvo de tal forma que la humidificación, hundimiento y dispersión aumenta a un punto donde la reconstitución ocurre rápidamente.

4.3.17 Caracterización de alimentos en polvo.

Según CYTED (2002), los alimentos en polvo suelen ser clasificados en función de su uso, componentes químicos, tamaño de partícula, fluidez o efecto de porción. Sin embargo la composición y las propiedades de los alimentos pueden cambiar en función del tiempo lo que lleva a su

clasificación cambie de igual manera, ejemplo de estas características son la higroscopicidad y la fluidez, las cuales representan el efecto combinado de diferentes fenómenos físicos y físicos-químicos en el alimento.

La preparación de alimentos en polvo tiene a su vez diferentes alternativas que van desde su molienda hasta la aglomeración, liofilización, secado por atomización y secado en lecho fluidizado. En cada caso, el tipo de partícula generada tiene características estrechamente relacionadas al proceso que provienen.

La importancia de los alimentos en polvo está en la versatilidad que estos proveen en cuanto al manejo, almacenaje, elaboración de productos, estabilidad química y microbiológica entre otras. La variedad de los productos en el mercado que vienen como consecuencia de los avances en la tecnología de polvo incluyen como por ejemplo leche en polvo entera, leche bajo en grasa, café instantáneo descafeinado y regular, alimentos para niños, productos dietéticos, suplementos vitamínicos, polvos de bebidas instantáneas con sabores naturales y artificiales y producto de confitería.

4.3.17.1 Tamaño y forma de las partículas.

El tamaño de las partículas y su forma no pueden ser definidos con un valor específico pero sí por rangos, en el caso de tamaño, podemos encontrar partículas que son del orden de los micrones (almidón de maíz) y otras de miles de micrones (café instantáneo).

En cuanto a la forma, encontramos desde esféricas (almidón de maíz) hasta muy irregulares (proteína de soya). La absorción o pérdida de humedad, las reacciones químicas y atrición mecánica causan en las partículas durante el almacenaje y manejo de las mismas que en muchos casos afectan su forma y tamaño.

4.3.17.2 Distribución de las partículas por su tamaño.

Una forma de caracterizar sistemas en polvo es por la distribución de tamaños de las partículas que lo componen. La cuantificación de los diferentes tamaños de partículas se realiza considerando, usualmente, el peso retenido en cada tamiz. Las partículas pequeñas o finas ($<100 \mu\text{m}$) se asocian con la formación de mezclas ordenadas. Este fenómeno es utilizado para introducir colorantes, agentes acondicionadores o algún otro químico en la formulación del alimento. Por otra parte, partículas gruesas ($>100 \mu\text{m}$) están asociadas a mezclas aleatorias donde no existen interacción física entre los componentes de la mezcla.

Se presume que existe una continuidad en el tamaño de las partículas de manera que se pueda definir una función matemática como la descrita a continuación:

$$M(X)M_0 = f(x/x_0) \quad (6)$$

Donde $M(x)$ es la masa total de producto asociada a un tamiz de referencia, M , es la masa inicial de la muestra y x , es el tamaño más grande de partícula hallado en el polvo.

4.3.17.3 Descripción de la forma de las partículas.

La forma de las partículas afecta la fluidez de los polvos, su empaque y la interacción con líquidos. Se puede definir la forma de las partículas como acircular (formas de aguja), angular (borde filosos), dendrítica (ramificaciones cristalinas), fibrosas (contorno regular o irregular), granular (forma irregular equidimensional), irregular (deficiencia en simetría) o esférica.

4.3.17.4 Clasificación de polvos.

El tamaño y la humedad son factores esenciales a tener en cuenta cuando se estudian las interacciones entre partículas de un mismo ingrediente o de una mezcla. Existen algunos parámetros que ayudan a caracterizar estas interacciones. Entre ellos encontramos el ángulo de reposo que se define como el ángulo que forma con la horizontal un conglomerado de partículas.

Se define como polvo no-cohesivo aquel que no presenta ningún tipo de interacción entre sus partículas. Esto permite el libre fluir del polvo, en cuyo caso la mayor obstrucción al flujo es la fricción interna. Esto se puede expresar como:

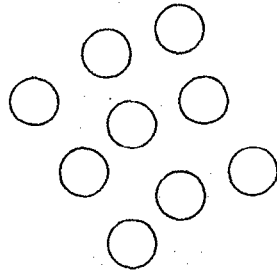
$$T > \mu \sigma \quad (7)$$

$$\mu = \tan \alpha \quad (8)$$

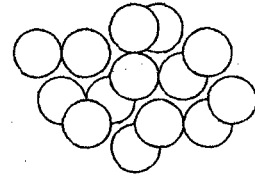
donde t es el esfuerzo cortante, u es el coeficiente de fricción interna, α es el ángulo de fricción interna y σ es el esfuerzo normal. La mayoría de los alimentos en polvo se pueden considerar como no-cohesivos solamente cuando están secos y el tamaño de la partícula excede los 100 μm , el ángulo de reposo para polvos no cohesivos es menor a los 35°.

Los polvos cohesivos son aquellos, a diferencia de los no-cohesivos, que presentan interacciones entre partículas. Estas interacciones juegan un papel importante en el comportamiento mecánico del polvo. La mayoría de los polvos se tornan cohesivos especialmente al ganar agua del medio ambiente. El fenómeno de cohesividad reduce la capacidad de flujo de los polvos y es responsable de la

aglomeración de las partículas. La aglomeración puede variar desde la formación de grumos hasta la solidificación total del polvo. El ángulo de reposo en polvo es mayor a los 45° La Figura 6 presenta un esquema básico para presentar ambos tipos de polvo, cohesivos y no-cohesivos



A No cohesivo



B. Cohesivo

Figura N° 6: Representación de polvos (A) no cohesivo y (B) cohesivo

4.3.18 Encapsulantes.

La encapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas en una matriz o sistema pared con el objetivo de impedir su pérdida, para protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno. Una ventaja adicional es que un compuesto encapsulado se liberará gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado y se obtienen productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales. Se utiliza también el término microencapsulación en la industria alimentaria o farmacéutica cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades. Los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se usan indistintamente.

La utilización de microcápsulas abarca una amplia gama de campos: la eliminación controlada de sabores, colores, aromas, perfumes, drogas, fertilizantes y precursores en impresiones.

4.3.18.1 Procesos de encapsulación.

Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante mediante un proceso de coacervación. Históricamente, la microencapsulación fue introducida de manera comercial en 1954 como medio de hacer copias múltiples sin el uso del papel carbón.

Hay diferentes métodos para microencapsular, entre ellos, los más utilizados son: la coacervación, la polimerización interfacial, el secado por aspersión, la gelación iónica, etc.

La selección del proceso de encapsulación para una aplicación considera el tamaño medio de la partícula requerida y las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante y la sustancia a encapsular, las aplicaciones para el material microencapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo.

En el caso de sabores y aromas, varios métodos han sido desarrollados para encapsularlos y utilizarlos en la industria de alimentos; el más utilizado es el secado por aspersión, debido a que es un método económico y efectivo para el encapsulado de sabores.

Los principales encapsulantes utilizados para este método son: carbohidratos (almidón y derivados, maltodextrinas, jarabes de maíz, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa y

derivados); gomas (arábica, mezquite, alginato de sodio); lípidos (ceras, parafinas, grasas) y proteínas (gelatina, proteína de soya, caseinatos, suero de leche, zeína). Estos encapsulantes deben tener la capacidad de proporcionar una emulsión estable durante el proceso de secado por aspersión y tener muy buenas propiedades de formación de película para proveer una capa que proteja al ingrediente activo de la oxidación.

4.3.18.2 Gelatina.

Llamado también Gelatinum o Gelatina alba. Es un producto que se obtiene por hidrólisis parcial del colágeno que se extrae de la piel, del tejido conjuntivo blanco y de los huesos de animales. Se presentan en laminas, copos, hebras o polvo grueso a fino, de un color apenas amarillo o ámbar cuya intensidad varia según el tamaño de las partículas; tenue olor característico a caldo; estable al aire si esta seca pero sujeta a descomposición microbiana cuando esta húmeda o en solución. La gelatina es una proteína incompleta desde el punto de vista nutritivo. La sustancia gelatinizante se llama condina, y la adhesiva se conoce como glutina. Se emplea en Farmacia como agente encapsulante, agente de suspensión, fijador de comprimidos y agente de revestimiento.

También se la recomienda como agente emulsificante. Si se usa gelatina en la elaboración de capsulas que contengan medicamentos o para revestir píldoras, puede colorearse con un colorante certificado podrá tener una capacidad gelificante menor. Combinada con la glicerina forma la gelatina glicerizada, y en esta forma se utiliza como vehiculo y también para elaborar supositorios. Se le agrega Oxido de zinc para formar gelatina zinc, que es un tópico protector. Es también nutritiva y se usa mucho en la preparación de

productos alimenticios comerciales y para medios de cultivo en bacteriología (Fernandez, 1995).

4.3.18.3 Carboximetil celulosa sódica (CMC).

La carboximetil celulosa sódica (CMC) es completamente soluble en agua fría y caliente, e insoluble en la mayoría de los disolventes orgánicos. Es compatible con los tensoactivos anionicos y cationicos. En las formulaciones de productos, se recomienda disolver la carboximetilcelulosa en agua antes de añadir los restantes ingredientes.

Cuando este polímero se encuentra entrecruzado es insoluble en agua, pero puede hincharse. Tiene aplicaciones como espesante, agente gelificante, encapsulante y estabilizante. Se usa al 1% en champús y lociones; al 0.5% en maquillaje líquido, y al 0.5-1% en pastas de dientes. En el caso de la carboximetilcelulosa entrecruzada, su función es la de fibra absorbente

4.3.18.4 Maltodextrina.

La maltodextrina es un polímero de dextrosa obtenido a partir del almidón mediante procesos enzimáticos. Es un polvo blanco. Sus cualidades están referidas a su baja higroscopicidad, buena solubilidad y bajo poder edulcorante. Además, cabe destacar que este producto puede ser almacenado por un tiempo prolongado sin que se deterioren sus propiedades. Las maltodextrinas han ocupado un lugar importante para el acondicionamiento de jugos, que han sido secados por aspersión ya que son incoloras, inodoras y de baja viscosidad a altas concentraciones y están disponibles en diferentes equivalentes de dextrosa.

4.3.19 Emulsificantes.

La emulsificación puede definirse como operación entre dos líquidos normalmente inmiscibles los cuales se mezclan íntimamente llegando a estar uno de ellos dispersados en otro en la forma de pequeña gotas o glóbulos.

Dentro de la industria alimentaría podemos considerar.

4.3.19.1 Almidones.

La mayor parte de los almidones que se encuentran en el mundo son una mezcla de dos polisacáridos. Uno llamado amilana, que es una cadena lineal de unidades de α -D-glucopiranosilo unidas por enlaces 1-4. El segundo componente polisacárido del almidón es la amilopectina.

En el comercio se fabrican muchos almidones modificados para aplicaciones en alimentos y en otras industrias. De estos los fosfatos de almidón se utilizan ampliamente en diversos productos alimenticios como salsas para carnes, sopas de crema, salsas espesantes, comidas tipo oriental, aderezos para ensalada, mostazas preparadas y alimentos infantiles.

4.3.19.2 Gomas.

Las gomas en forma de polisacáridos de origen natural, o polisacáridos modificados, se consumen ampliamente en la industria. En los Estados Unidos se emplean cada año mas de mil millones de libras. Estos son polisacáridos que se dispersan en agua fría o caliente para producir soluciones viscosas.

Estas gomas se utilizan por sus características de viscosidad, su capacidad para producir estabilizadores de suspensiones,

emulsión, algunas veces por su capacidad de formar complejos con otras moléculas como proteínas y con frecuencia, por su capacidad para producir geles de rigidez controlada.

Las gomas en el mundo antiguo eran, en su mayor parte, exudados vegetales y mucos de estos, como la goma arábica, la goma de ghatti y la goma Baraya, todavía se usan en grandes cantidades. Las gomas de algas marinas, como la carragina y la alga, se utilizan ampliamente en la industria de los alimentos. Las gomas de semillas son principalmente la de guar y la de algarrobo, empleándose algo de goma de membrillo, psilium y lino. Al presente la única que se utiliza en productos alimenticios es una goma del género Xanthomas, llamada goma de xanthan.

El agar, que se obtiene de algas marinas Gelidium, se produce en cantidades más pequeñas, principalmente para ser utilizados en industria farmacéutica.

La goma arábica, obtenida como exudado natural de los árboles del género Acacia se emplea en la industria de alimentos, su propósito principal es influir en la viscosidad, el cuerpo y la textura de los alimentos. Se usa ampliamente en la fabricación de dulces para evitar la cristalización del azúcar, por su poder espesante se emplea como glaseado en dulces y es un componente de la goma de mascar, las pastillas para la tos, y las tabletas de dulce

La goma de guar y algarrobo son de semillas que se usan en la industria desde hace muchos siglos. Ambas gomas forman dispersiones coloidales y encuentran amplio uso como agentes suspensivos y espesantes en alimentos y estabilizantes en helados para evitar la formación de gránulos.

4.3.19.3 Mono y diglicéridos

En los EUA se utilizan más de 90 800 ton de agentes tensoactivos en el procesamiento de alimentos. De estos el 75% son mono- y diglicéridos que incluyen mezclas que van desde un contenido de monodiglicéridos inferior a 20% hasta un 90%. Los ésteres de monoglicéridos son los más activos en la mayoría de las aplicaciones y con frecuencia en el ramo de alimentos se conoce a estas mezclas como "monoglicéridos". Son emulsificantes no iónicos y pueden existir como líquidos sólidos plásticos o grasas duras, dependiendo del tipo y distribución de ácidos grasos en la molécula.

Estructuralmente los monoglicéridos son los productos de condensación de una molécula de glicerol con 1 ó 2 moléculas de ácidos grasos. Estos productos aparecen en la naturaleza en las grasas que han sufrido cierta hidrólisis parcial, por ejemplo, en el tracto intestinal del hombre y los animales. La FDA generalmente las reconoce como seguras.

Los monoglicéridos se separan de los di- y triglicéridos por destilación molecular. Los productos comerciales libres de catalizador, ácidos grasos y glicerina y que tienen más de de 90% de monoglicéridos, se emplean extensamente en la industria de procesamiento de alimentos.

Normalmente, los mono y diglicéridos se solidifican en la forma polimórfica o cristalina y después se invierte a la forma P. La reversión es mucho más lenta con los monoglicéridos destilados y puede retardarse por períodos prolongados si se almacena a 2°C.

Mientras que los monoglicéridos se consideran como emulsificantes, su función importante en los alimentos mejora la suavidad, la firmeza y la estabilidad.

4.3.19.4 Lecitina.

Es el segundo grupo más grande de los emulsificantes para alimentos que se utiliza actualmente son los fosfátidos. Estos materiales representan hoy en día el 10% del mercado total de emulsificantes para alimentos.

Los fosfátidos están compuestos por un alcohol polihídrico, casi siempre el glicerol, que se esterilice con ácidos grasos y ácido fosfórico. El ácido fosfórico también se combina con un compuesto que contiene nitrógeno como la colina, etalonamina o betaína. Dos fosfátidos comunes como la lecitina y la cefalina,

Los fosfátidos existen siempre como parte del contenido no glicérido de la mayoría de las grasas y aceites y se eliminan durante la refinación de los aceites, la mezcla comercial de fosfátidos que se conoce como lecitina, se prepara casi exclusivamente a partir de aceite de soya. La lecitina comercial puede encontrarse con contenidos de fosfátidos de 50 a más 90% y puede variar desde líquidos viscosos hasta sólido plásticos a materiales sólidos granulables de flujo libre.

El contenido de fosfátidos de la lecitina comercial casi siempre se indica como "porcentaje de insolubles en acetona"

La lecitina funciona en muchas y variadas formas: produce baja tensión superficial, actúa como emulsificante, es un

antioxidante y promueve la formación de pequeños cristales en los productos alimenticios.

Es uno de los emulsificantes más activos, sin embargo, su sabor característico con frecuencia es un factor limitante a nivel de su uso.

El tipo de agente emulsificante utilizado, depende principalmente del tipo de emulsión formada, pero el método de preparación y la proporción de las fases también influye en este.

La fase presente en mayor proporción tiende a ser la fase externa. Como regla general el método de preparación debe ser tal, que la fase externa en todas las etapas presentes sea la de proporción más alta.

Para formar una emulsión, esta tendencia a que la interface se contraiga debe contrarrestarse y esto requiere que se aplique energía al sistema. Una etapa esencial en la formación de emulsiones es reducir esta tendencia a contraerse o a la tensión interfacial. Al elevar la temperatura de los líquidos dentro de límites que evitan cambios indeseables en los materiales, tiene el efecto de reducir la tensión superficial. Sin embargo este objetivo se logra principalmente por el uso de agentes emulsificantes.

Las lecitinas encuentran amplia aplicación en la industria alimentaria así como en productos alimenticios, lo que depende de sus propiedades emulsionantes. Las lecitinas son componentes en menor escala de muchos alimentos donde sirven como estabilizadores de espuma, agentes suspensores, agentes humectantes, suplementos nutritivos y agentes contra salpicaduras.

4.3.20 Aplicación en la industria alimentaria.

Los aparatos de atomización están muy generalizados para la deshidratación de diversos productos líquidos como leches concentradas, extractos concentrados de café, huevos, extractos de levadura, caseína, zumos de frutas, té, proteínas de suero, enzimas y microorganismos.

Las frutas tropicales han sido y siguen siendo muy populares en todo el mundo, sin embargo existen pérdidas de hasta 30% de estos productos en los países de vía de desarrollo por falta de facilidades y conocimiento de los medios de conservación. En la presente memoria se dará a conocer 2 frutas tropicales: El camu camu y el aguaje.

V. METODOLOGÍA.

La parte experimental del proyecto se desarrollara en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNAP, que cuentan con la infraestructura y equipos necesarios para la realización del proyecto. Se hará uso de los siguientes ambientes:

- Sala de procesamiento de frutas y hortalizas.
- Planta de atomización de frutas.
- Laboratorio de Control de Calidad.
- Laboratorio de Análisis Físicoquímico.
- Laboratorio de Evaluación Sensorial.
- Laboratorio de Microbiología de los alimentos

El secado por aspersión muestra una alternativa para aprovechar al máximo estos productos. Este método de tratamiento ofrece grandes ventajas tales como un rápido secado del alimento, operación continua, adaptabilidad para una completa automatización, aplicación a materiales sensibles y no sensibles al calor, posibilidades de manejo a todas las escalas: laboratorios, planta piloto, pequeña y gran industria.

Este tipo de secado ha cobrado desde hace varias décadas una amplia utilización en el secado de leche, café, té, huevo, proteínas de suero, enzimas y microorganismos. Así también se ha utilizado en el secado de alimentos ricos en azúcares y grasas, tales como el jugo de frutas, miel y algunos derivados de estos.

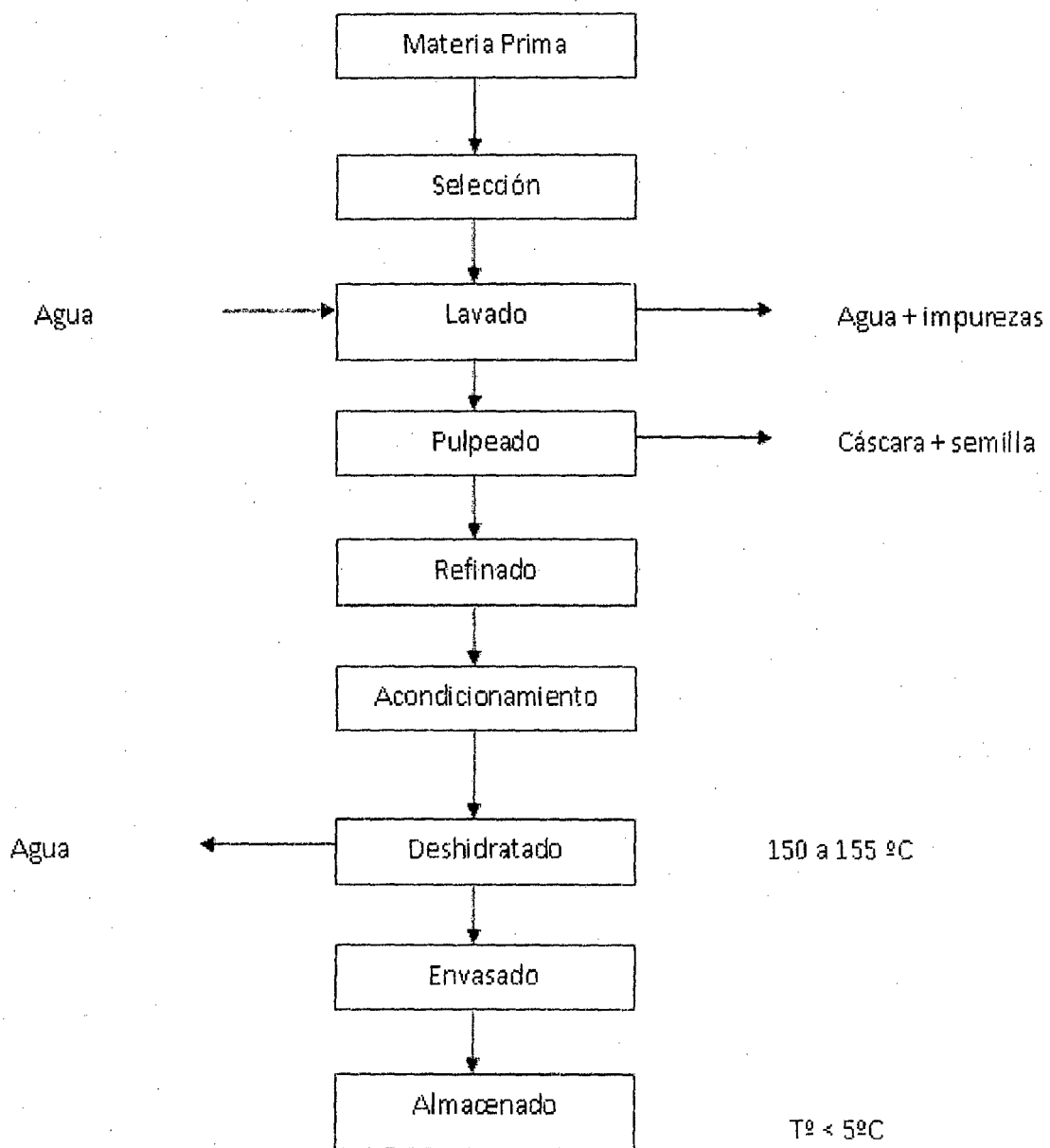
Un acondicionamiento de la materia prima es necesario, ya que los azúcares presentes en el producto, pueden caramelizarse y como consecuencia pegarse en las paredes del secador. Debido a esto se requiere de un acondicionamiento de la materia prima con los coadyuvantes.

Dentro de los parámetros más importantes a controlar durante el secado por aspersión se han mencionado, la temperatura de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación del producto a ser, el tiempo de residencia y el acondicionamiento de la materia prima.

VI. DISEÑOS EXPERIMENTALES.

6.1 Para el Camu-camu.

Figura N° 7. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de Camu-camu



a. Materia prima

Se utilizara el fruto del Camu camu (*Myrciaria dubia*) provenientes de las cochas Sahuá Supay localizado en el distrito de Jenaro Herrera, provincia de Requena, departamento de Loreto. Las frutas serán sometidas a un proceso de pulpeado en un lapso no mayor a 24 horas después de haber sido cosechadas.

b. Selección.

Se seleccionara los frutos por el grado de madurez y tamaño, de preferencia semi maduro, ya que esta contiene mayor proporción de vitamina C y considerando que las frutas estén en buenas condiciones.

c. Lavado.

Se deberá de lavar para eliminar las impurezas que acompañan a la fruta. Se recomienda utilizar desinfectante orgánico para asegurar la eliminación de toda carga microbiana. En este caso utilizaremos hipoclorito sódico al 0.01% por 10 minutos.

d. Obtención de la pulpa de Camu Camu.

Para la extracción de la pulpa de camu camu se utilizara la pulpeadora de la planta piloto de la facultad de industrias alimentarias de la universidad nacional de la amazonia peruana. Luego se someterán a diferentes tratamientos con el objeto de inactivar a las enzimas causantes de los cambios de color y sabor. Estos equipos pueden ser:

- * Thermobreak. Será utilizado para conservar el color de la fruta.
- * Pasteurizador de pulpas. Para inhibir microorganismos presentes en la fruta y alargar la vida útil evitando problemas a futuro.
- * Tratamiento con aditivos. Para estabilizar el color y sabor, en este caso se empleara bisulfito de sodio al 0.1 o 0.2% en el agua que servirá para regular los sólidos al 10% y ajustando el ph de 4 a 4.15.

e. Refinado.

Para este proceso se utilizara una refinadora con mallas de 0.2 micras. El rendimiento de la materia prima oscilará entre: pulpa refinada 50 a 55% en peso, dependiendo de la proporción de la cáscara, semilla y fibra y de las pérdidas en el proceso.

f. Acondicionamiento de la pulpa refinada antes del secado.

Se empleo como coadyuvante la maltodextrina (Amidex) con un grado equivalente de dextrosa 10DE a concentraciones de 8, 10, 12 y 14 w/v. con la finalidad de favorecer la recuperación del producto final.

g. Deshidratado.

Se utilizaran como temperaturas de entrada de aire de 150 a 155°C con presiones del aire comprimido a 0.7 y 1.4 bar. El flujo de alimentación de la muestra deberá ser 350 ml/h y el flujo de aire a 24 m³/h. En caso se utilice equipos de poca capacidad o de laboratorio.

h. Envasado.

El producto se envasara en bolsas de polietileno de alta densidad color ámbar y selladas herméticamente al vacío para evitar ganancia de humedad del producto.

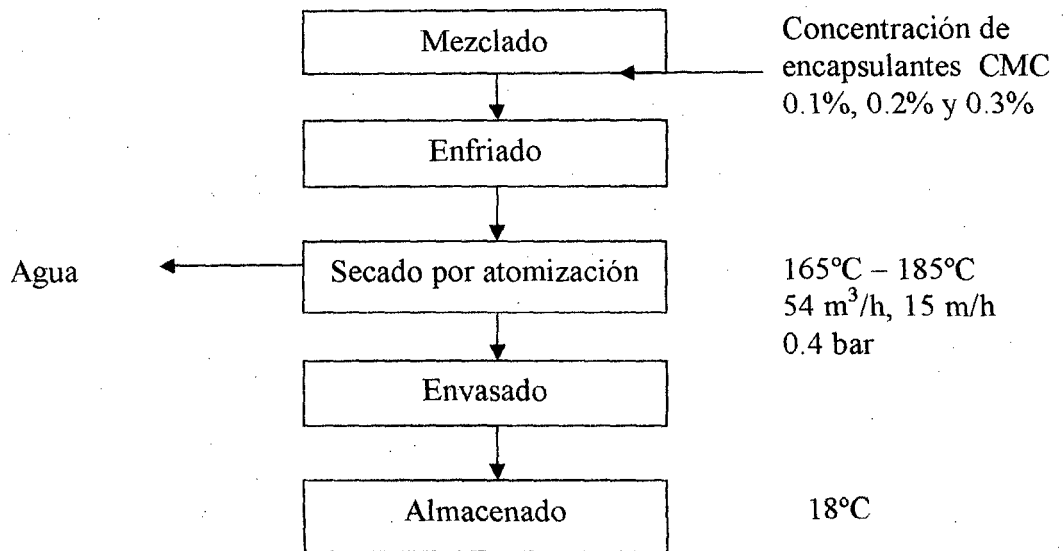
i. Almacenado.

Se almacenara en refrigeración a una temperatura menor a 5 °C

6.1.1 Descripción del proceso para el secado de pulpa de camu camu.

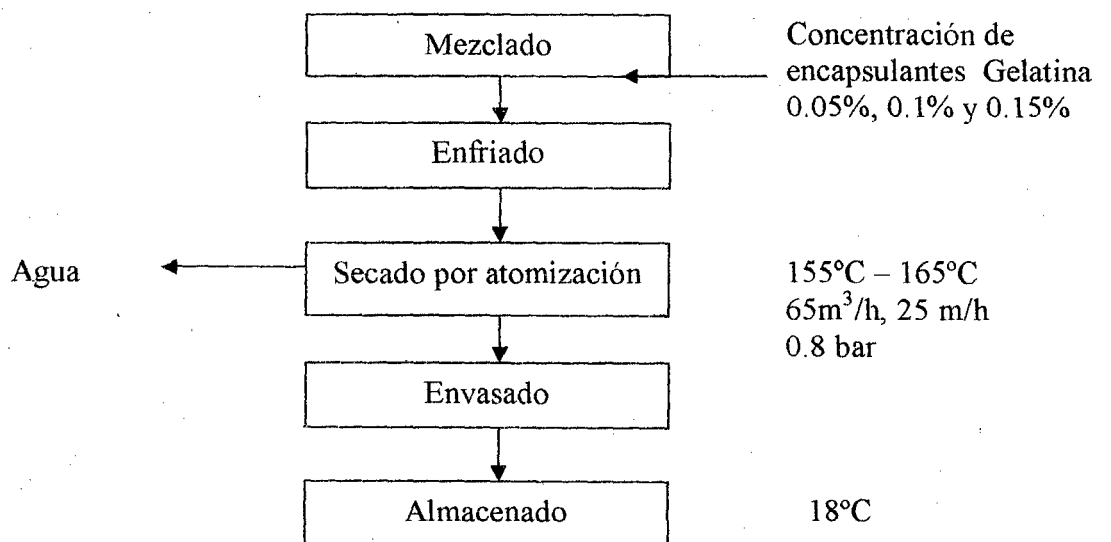
6.1.1.1 Con CMC como encapsulante.

Figura N° 8. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de Camu Camu con CMC.



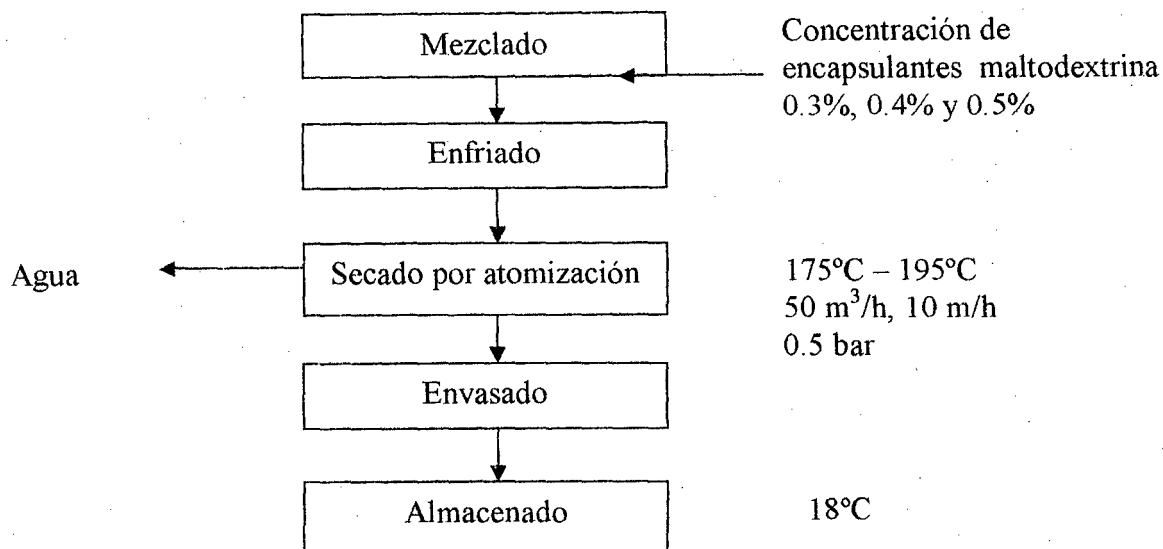
6.1.1.2 Con Gelatina como encapsulante.

Figura N° 9. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de Camu Camu con Gelatina.



6.1.1.3 Con Maltodextrina como encapsulante.

Figura N° 10. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de Camu Camu con Maltodextrina.



La descripción solo se a hará del CMC por que el resto de encapsulantes solo varia los parámetros de %, temperatura, flujo másico, flujo de aire y presión.

a. Mezclado.

Se deberá calentar el extracto de myrciaria dubia (camu camu) hasta una temperatura no mayor de 75°C para poder diluir el encapsulante agitando vigorosamente con la ayuda de paletas de acero inoxidable hasta su completa dilución. El encapsulante a utilizar será el CMC al 0.1%, 0.2% y 0.3%

b. Enfriado.

La mezcla fue enfriara hasta una temperatura de 25 °C con la finalidad de no afectar el funcionamiento del atomizador por las altas temperatura al momento de bombear el extracto a secar.

c. Secado por atomización.

Para el proceso de secado se procederá con una cantidad de 1000 ml de extracto acuoso de camu camu. Deberán ser constantes los siguientes parámetros: temperatura de salida del aire 95 °C; flujo del aire en el atomizador, 54 m³/h, 65 m³/h y 50 m³/h; velocidad de flujo másico, 15 m/h, 25 m/h y 10 m/h; presión del compresor, 0.4 bar, 0.8 bar y 0.5 bar. Siendo las temperaturas de entrada 165 °C – 185°C, 155 °C – 165 °C y 175 °C- 195 °C respectivamente para los 3 casos.

d. Envasado.

El producto se envasara en bolsas de polietileno de alta densidad color ámbar y selladas herméticamente al vacío para evitar ganancia de humedad del producto.

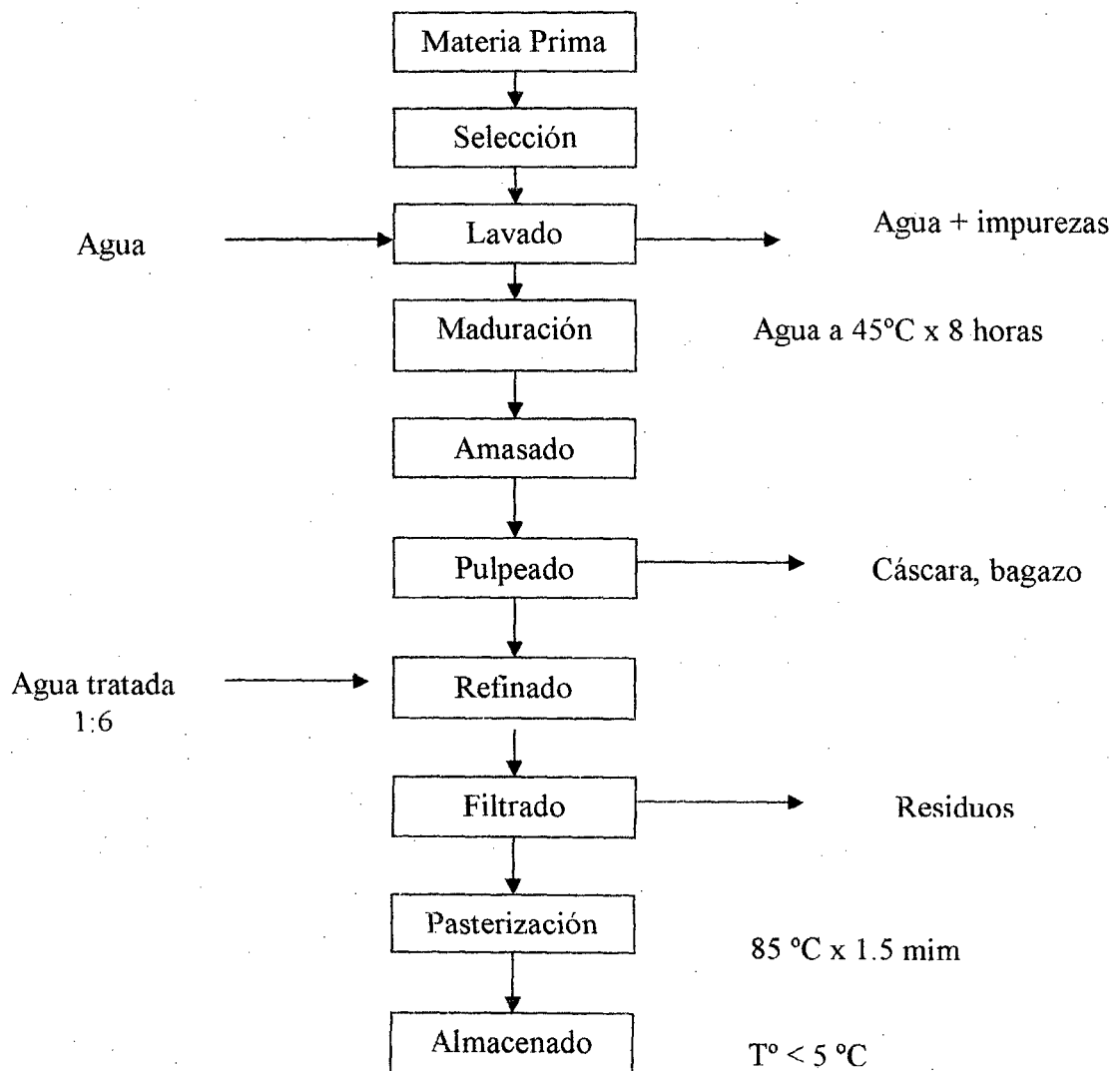
e. Almacenado.

El producto terminado tiene que ser almacenado en un ambiente fresco y seco (18°C), oscuro para que la luz no afecte la composición química del producto.

6.2 Para el Aguaje.

Descripción del proceso para obtención del extracto

Figura N° 11. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de Aguaje.



a. Materia prima.

Se utilizara el fruto de *Mauritia fleuxosa* (Aguaje) proveniente del, este fruto deberá de ser madurado al sol para poder extraer la pulpa. Las frutas serán sometidas a un proceso de pulpeado en un lapso no mayor a 24 horas después de haber sido recolectadas.

b. Selección.

Con el fin de eliminar materias indeseables como: ramas, exceso de tierra, frutas malogradas, y aquellas frutas no aptos para seguir con el procedimiento.

c. Lavado.

Por naturaleza el fruto del aguaje se recolecta en lugares pantanosos (aguajales), y pueden presentar materiales no deseados como el fango, hojas, tierra, por ello es necesario un vigoroso lavado manual con abundante agua y con la ayuda de escobillas de plástico.

d. Maduración.

El aguaje deberá ser sumergido en agua tratada a 45°C dentro de bandejas de plástico por un lapso no mayor de 8 horas.

e. Amasado.

El aguaje deberá ser amasado por medios mecánicos para facilitar su posterior pulpeado.

f. Pulpeado.

El pulpeado se realizara en forma manual, con la ayuda de un tamiz de 0.5 micras.

g. Refinado.

Para esta operación es necesario adicionar agua tratada en una proporción 1:6, y licuar la solución por 1.5 minutos.

h. Filtrado.

El extracto obtenido se someterá a la acción de filtros al vacío con el fin de eliminar los posibles residuos sólidos del extracto acuoso y evitar la obstrucción en el capilar del atomizador. Para esta operación se utilizara bombas de vacío y materiales para dicho proceso.

i. Pasteurización

El extracto se pasteurizara a una temperatura de 85 °C x 1.5 minutos. En el pasteurizador con la finalidad de inhibir el crecimiento bacteriano.

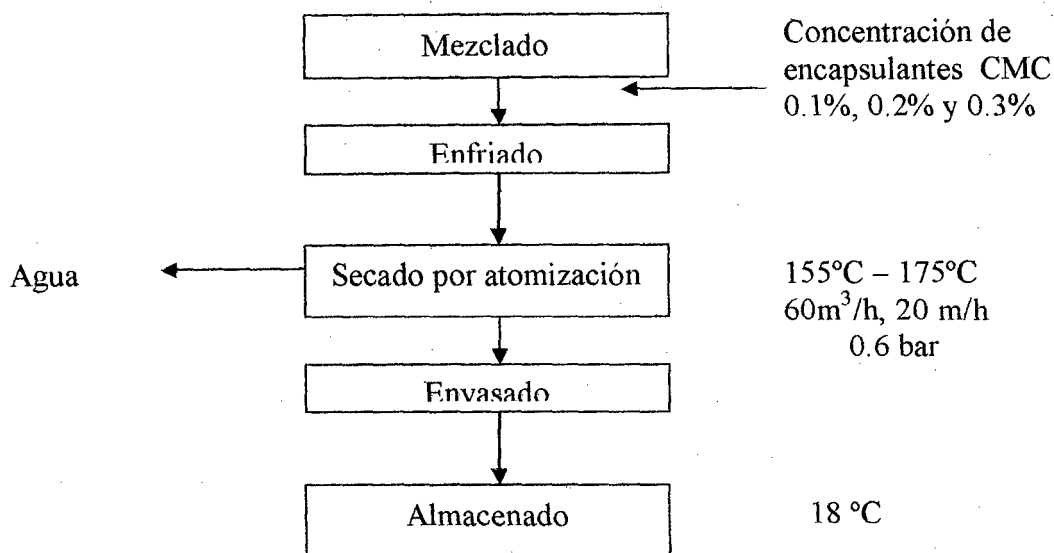
j. Almacenado.

Se almacenara en baldes de plástico de 20 lt. De capacidad y en refrigeración a una temperatura menor de 5 °C

6.2.1 Descripción del proceso para el secado de pulpa de aguaje.

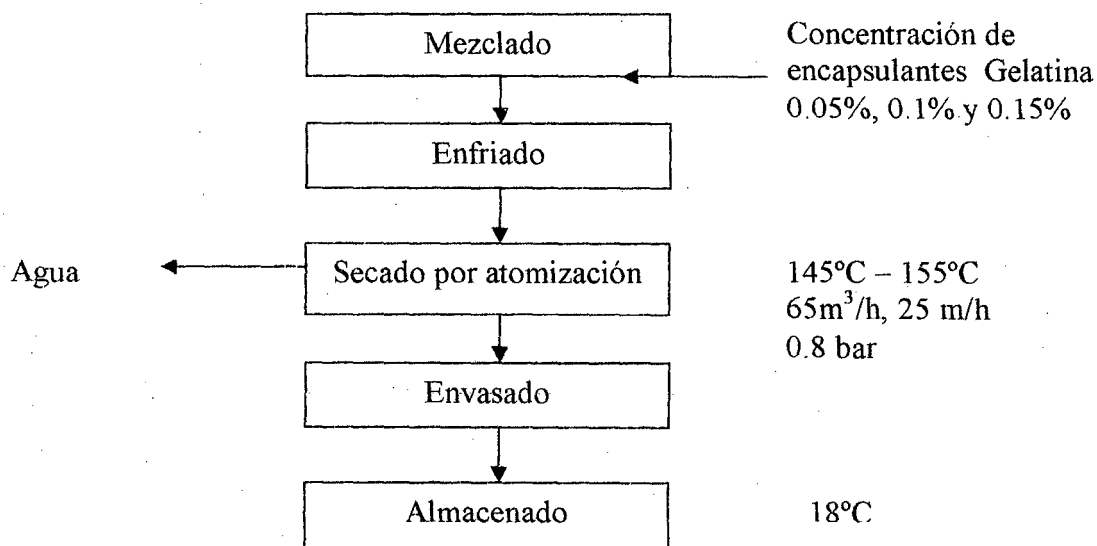
6.2.1.1 Con CMC como encapsulante.

Figura N° 12. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de aguaje con CMC.



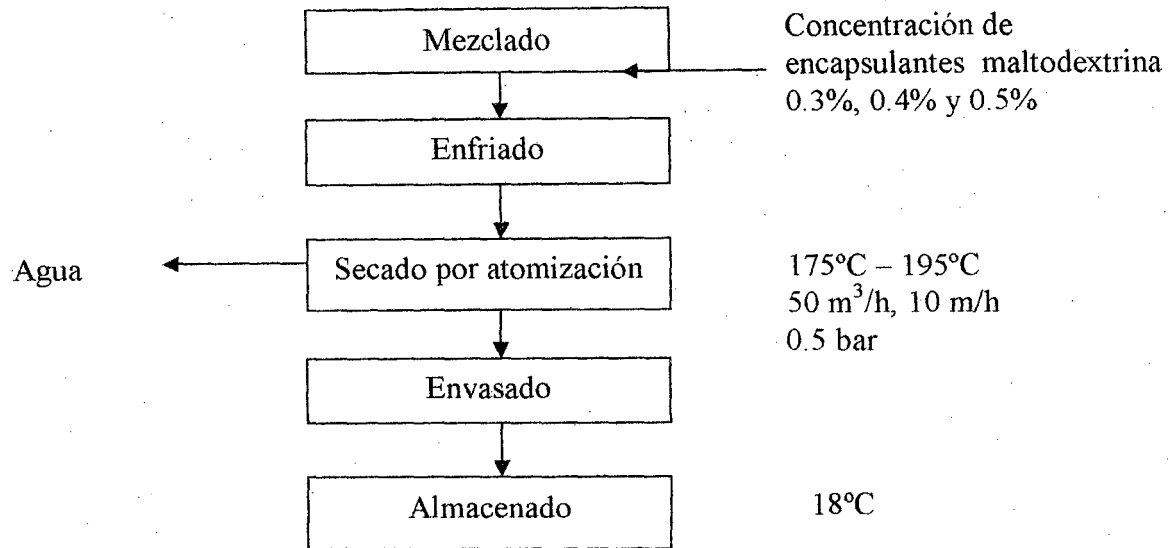
6.2.1.2 Con Gelatina como encapsulante.

Figura N° 13. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de aguaje con Gelatina.



6.2.1.3 Con Maltodextrina como encapsulante.

Figura N° 14. Diagrama de flujo para el atomizado de pulpa de aguaje con CMC.



La descripción solo se hará del CMC por que en los demás encapsulantes solo varia el % a utilizar, temperatura, flujo másico, flujo de aire y presión.

a. Mezclado.

Se deberá calentar el extracto de aguaje hasta una temperatura no mayor de 75°C para poder diluir el encapsulante agitando vigorosamente con la ayuda de paletas de acero inoxidable hasta su completa dilución. El encapsulante a utilizar será el CMC al 0.1%, 0.2% y 0.3%

b. Enfriado.

La mezcla fue enfriada hasta una temperatura de 25 °C con la finalidad de no afectar el funcionamiento del atomizador por las altas temperatura al momento de bombear el extracto a secar.

c. Secado por atomización.

Para el proceso de secado se procederá con una cantidad de 1000 ml de extracto acuoso de aguaje. Deberán ser constantes los siguientes parámetros: temperatura de salida del aire 95 °C; flujo del aire en el atomizador, 60 m³/h, 65 m³/h y 50 m³/h; velocidad de flujo másico, 20 m/h, 25 m/h y 10 m/h; presión del compresor, 0.4 bar. Siendo las temperaturas de entrada 155°C – 175°C, 145°C – 155°C y 175°C – 195°C respectivamente para los 3 casos

d. Envasado.

El producto se envasara en bolsas de polietileno de alta densidad color ámbar y selladas herméticamente al vacío para evitar ganancia de humedad del producto.

e. Almacenado.

El producto terminado tiene que ser almacenado en un ambiente fresco y seco (18°C), oscuro para que la luz no afecte la composición química del producto.

VII. CONCLUSIONES.

- La atomización es un proceso importante en la industria de los alimentos, obteniéndose productos de muy buena calidad, si se trabaja con los estándares y cumpliendo las normas de calidad necesarias.
- La característica más importante de un producto atomizado es la uniformidad que se obtiene del producto final.
- El secado por atomización es un procedimiento de conservación que al eliminar la totalidad del agua libre de un alimento, impide toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática.
- El secado por atomización conserva bien las características organolépticas y nutricionales de los alimentos.
- El material de empaque utilizado para el envasado de pulpas atomizadas de Camu-camu y Aguaje es muy importante, ya que ayudara a preservar las características organolépticas del producto.
- El encapsulante de mejor utilidad es la maltodextrina ya que se utiliza las mejores condiciones de presión, temperatura y todos los demás parámetros a tener en cuenta además del factor económico como el precio.
- El factor determinante de todos los parámetros o de que encapsulante utilizar es la misma condición fisicoquímica del producto ya que un producto con altas concentraciones de azúcares necesita de un encapsulante que tenga la menor temperatura de atomización, de lo contrario se quemaría o caramelizaría.

VIII. RECOMENDACIONES

- Cumplir con las Buenas Prácticas de Manufactura durante todo el proceso.
- Utilizar materia prima de la mejor calidad, ya que la calidad de los frutos se reflejarán en el producto final.
- Es recomendable homogeneizar previamente el extracto de pulpa obtenido para evitar atascos en la fase de pulverización. Normalmente se utilizan distintos discos de centrifugación dependiendo del tipo de producto lo que implica que este tipo de sistemas deben tener fáciles accesos a este punto.
- Controlar de manera estricta los parámetros utilizados en los procesos de atomización entre estos están la velocidad y la temperatura del aire caliente que se distribuye alrededor de las partículas y que dependerá del contenido en agua del producto inyectado, tamaño de la gotita, viscosidad, tensión superficial y composición
- Evitar la contaminación cruzada en cada etapa del proceso.
- El empaclado de los productos deben ser al vacío en un ambiente libre de contaminación.
- Almacenar el producto en ambientes adecuados y controlados.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

BADUI, S. "Química de los Alimentos". Segunda Reimpresión. Longman de México Editores, S.A. de C.V. México. (1993).

BARBOSA, G. y VEGA, H. "deshidratación de Alimentos". Primera Edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España. 297 p. (2000).

BEJARANO, P. Y PIANA, R. Plan de Manejo de los Aguíjales Aledaños al caño Parinari. Programa Integral de Desarrollo y Conservación Pacaya Samiria, Iquitos-Perú. 85 p. (2002).

BRENNAN, J.; BUTTER, J.; COWEL, N.; y LILLY, A. Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Primera Edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España. (1970).

CASP, A; ABRIL, J. Proceso de Conservación de Alimentos. Primera Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid-España. pp 370 – 378. (1999).

CHARLEY, H. Tecnología de Alimentos. Primera Edición. Editorial Limusa. Ciudad de México-México. pp 652-657. (1991).

COLOMÉ, F. Obtención del Colorante de *Dioscorea trifida* (Sachapapa Morada) por Atomización. Memoria Descriptiva. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos-Perú. pp 82. (2007).

DELGADO, J. Ensayos Sobre el Uso de Microencapsulantes en el Secado por Atomización de Concentración de Maíz Morado (*Zea mays* L.). Trabajo Profesional. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú, p 150. (1989).

EARLE, R. Ingeniería de Alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 332 p. (1979)

FLORES P., "Cultivo de frutales nativos amazónicos"- Manual para el Extensionista., Editorial Mirigaf S.R.L., Lima-Perú. (2003).

GEANKOPLIS, J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Primera reimpresión. Compañía Editorial Continental, S.A. México D.F.-México. (1999).

LEWIS, M. Propiedades Físicas de los Alimentos y de los sistemas de Procesado. Primera Edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 494 p. (1997).

LOGNAY, G.; TREVEJO, E; JORDAN, E; MARLIER, M; SEVERIN, M. & ZARATE, O. Investigaciones sobre el aceite de Mauritia flexuosa L. Grasas y Aceites. Iquitos- Perú. Vol. 38,Fasc. 5: 303-307. (1987)

MASTERS, K. The spray drying Handbook. Longman Scientific and Technical. New York. 725 p. (2001).

OCAMPO, A. Modelo Cinético del Secado de la Pulpa de Mango (*Mangifera indica*). Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 5. Colombia pp. 119-128. (2006).

PERRY R. Manual del Ingeniero Químico. Séptima Edición, Mc Gran Hill. Ciudad de México-México. pp 62-69 (2001)

POTTER, N. La Ciencia de los Alimentos. Decima Edición. Editorial Edutex, S.A. México D.F.- México. pp. 290-296. (2003).

RANKEN, M. Manual de Industrias de los Alimentos. Quinta Edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España. pp. 410.418.510-512 (1998).

REYES, E. Atomización de Alimentos. Memoria Descriptiva. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos-Perú. pp 85. (2003)

RODRIGUEZ, J. La Encapsulación en Alimentos.2006. URL: Pagina web:

http://www.laencapsulacionenalimentos_consumaseguridad.com CONSUMER_es
EROSKI.htm

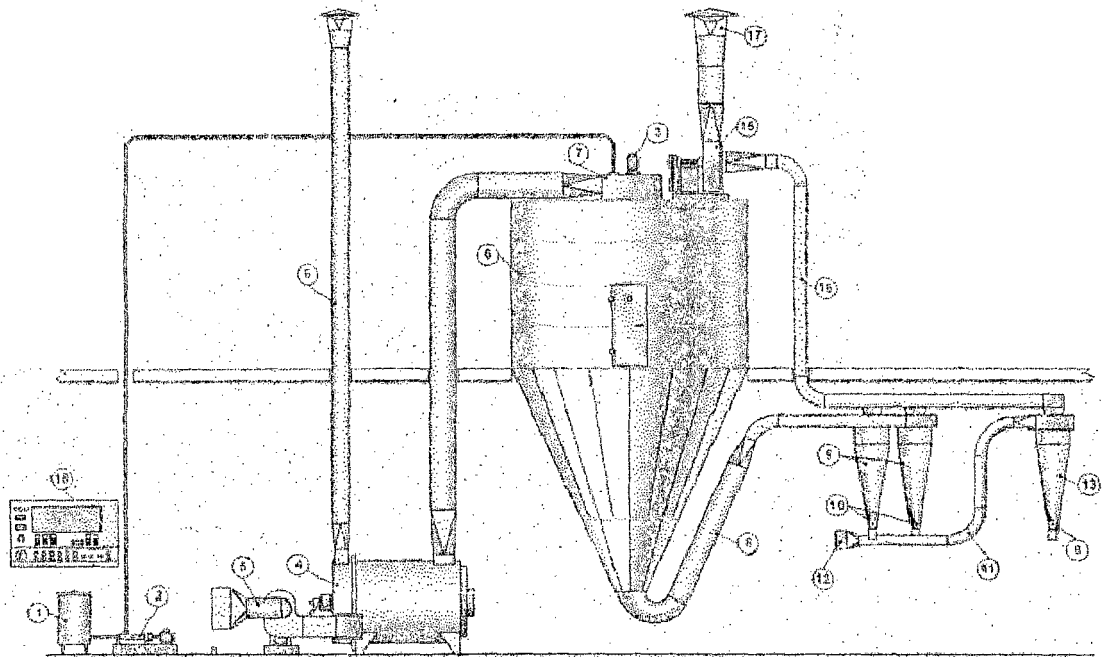
SINGH, P. Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Primera Edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España. pp 460-467. (1998)

RAMOS, Z. GARCIA, L. PINEDO, M. Evacuación de Factores de Procesamiento y Conservación de Pulpa de *Myrciaria dubia* H.B.K. (Camu-Camu) que Reducen el contenido de Vitamina C (Acido Ascórbico). Revista Amazonica de Investigación Alimentaria (RAIA). Antonio Pasquel Ruiz Editor General. v. 2, n° 2, pp. 89-99 (2002).

VILLACHICA, H. Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonía. SPT-TCA N° 44. Lima, Perú. pp. 2-11. (1996).

WARREN, L. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Sexta Edición. Mc Gran Hill. Ciudad de México-México. pp 869. (2002).

X. ANEXOS. (Anexo 01)



DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO

El Producto, a veces previamente concentrado, almacenado en el Tanque de Alimentación (1), es bombeado por medio de la Bomba de Alimentación (2) al Atomizador (3) y a la rueda atomizadora del mismo, que centrifuga al producto aumentando la superficie en contacto con el aire caliente produciendo una deshidratación instantánea, de manera que la máxima temperatura que alcanza el mismo, es el de la temperatura del aire de salida.

Las temperaturas del aire de desecación, dependen del producto a secar, y el mismo es producido por un generador de aire caliente (4) que puede ser directo a gas (los gases de combustión ingresan a la cámara con el aire), o indirecto a vapor, fluido térmico, gas, ó combustibles líquidos.

Cuando el generador de aire caliente es indirecto como el de la figura, es necesario un ventilador de inducción (5), y los gases de combustión salen por el conducto (6). El aire caliente ingresa a la cámara a través del conducto (7) al distribuidor en el techo (8) y juntamente con el polvo sale por el fondo cónico (alternativa fondo plano con colector neumático) de la cámara a través del conducto (9), a los ciclones separadores (10).

De acuerdo a las características del polvo, pueden ser necesarios uno o varios ciclones separadores de aire-polvo.

Si la Planta está equipada con un sistema de enfriamiento como el de la figura, el polvo se descarga a través de las válvulas rotativas (11) a un conducto de transporte (12) con aire ambiente que ingresa a través del filtro (13), enfriando y transportando el polvo al ciclón separador (14) donde el polvo sale por abajo a través de una válvula rotativa (15) a embolsado o a una zaranda clasificadora vibratoria. Por arriba el aire húmedo es extraído por el ventilador aspirante (16) a través del conducto (17), y conducido a la atmósfera (18).

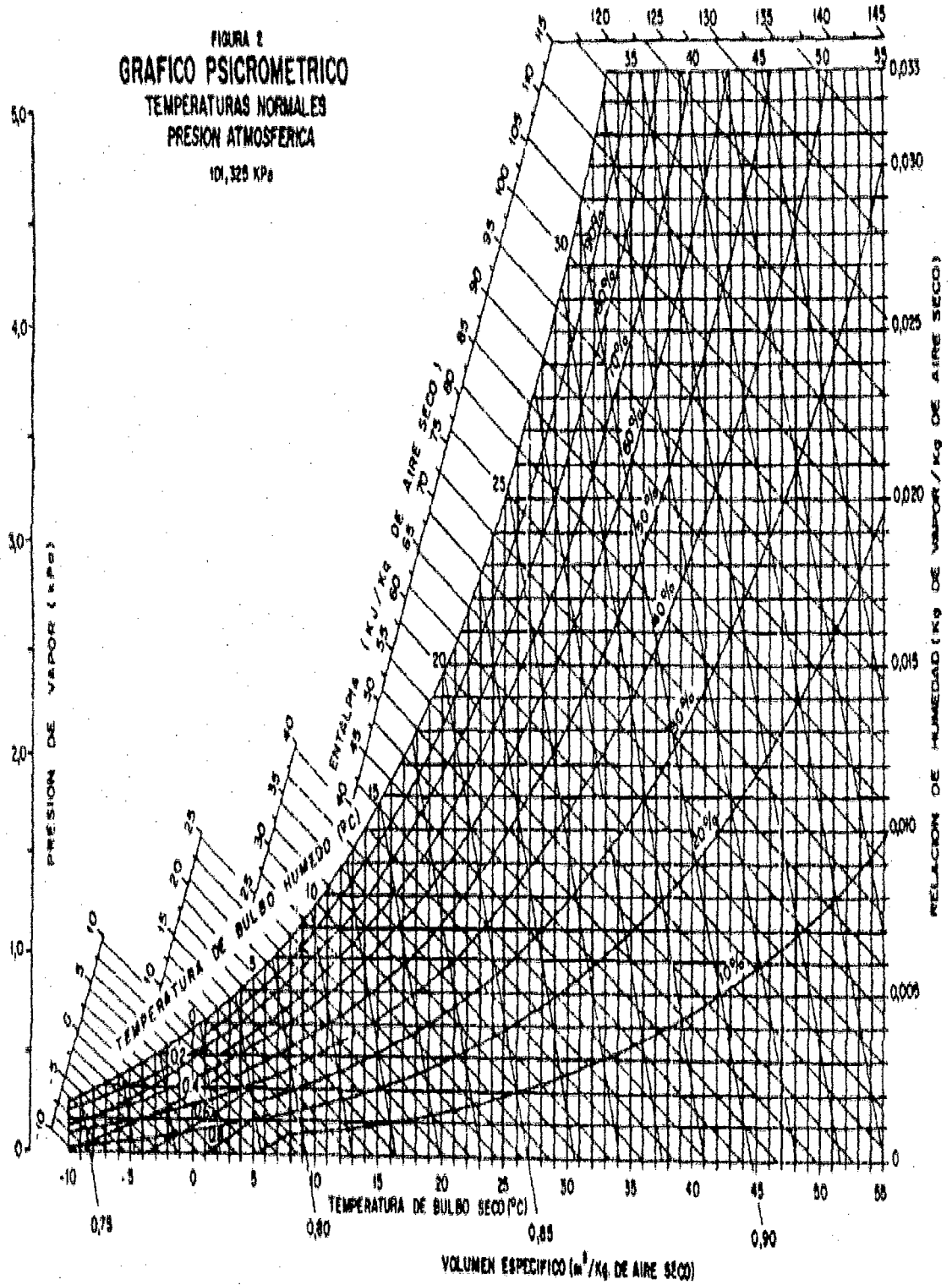
El polvo puede también salir por el fondo de la cámara, y sufrir un tratamiento posterior de enfriado o aglomerado en un equipo de lecho fluidizado, por ejemplo en el caso de leche donde además del proceso de aglomeración de las partículas puede llevar un equipo de lecitinación para mejorar sus cualidades de "Polvo Instantáneo" de rápida y fácil dilución

De acuerdo al producto, y a las características que debe tener el polvo del mismo, existen distintas configuraciones.

El Tablero de Control (18), dispone de toda la instrumentación para el control del proceso.

Anexo 02:

Diagrama psicrométrico para mezcla aire – agua.



Anexo 03

Propiedades físicas del aire a presión atmosférica estándar.

Temperatura		Densidad	Peso específico	Viscosidad ad $\times 10^5$	Viscosidad cinemática
°C	°F	Kg/m ³	N/m ³	Ns/m ²	$\alpha \times 10^5$ (m ² /s)
-40	-40	1.515	14.860	1.490	0.980
-20	-4	1.395	13.680	1.610	1.150
0	32	1.293	12.680	1.710	1.320
10	50	1.248	12.240	1.760	1.410
20	68	1.205	11.820	1.810	1.500
30	86	1.165	11.430	1.860	1.600
40	104	1.128	11.060	1.900	1.680
60	140	1.060	10.400	2.000	1.870
80	176	1.000	9.810	2.090	2.090
100	212	0.946	9.280	2.180	2.310
200	392	0.747	7.330	2.580	3.450

Fuente: COLOME, FLOR OBTENCIÓN DEL COLORANTE DE *Dioscorea trifida* POR ATOMIZACIÓN 2007

Anexo 04

Polvo encapsulado con maltodextrina. Secado por atomización.

PRODUCTO	APARIENCIA	CONCENTRACIÓN	ESTABILIDAD			SOLUBILIDAD	APLICACIÓN
			TEMP.	LUZ	PH		
Bixina en Polvo	Extracto de partículas irregulares.	20-28%	Buena	Buena	5-12	Insoluble.	Productos alimenticios que contienen aceites y grasas. Productos cosméticos y farmacéuticos.
AOS	Suspensión de Bixina en aceite de soya o girasol.	1-10%	Buena	Buena	5-7	Insoluble.	Margarinas, grasas, lácteos, snacks, cereales, sazónadores, mayonesa, quesos y productos de panadería.
Norbixina en Polvo	Polvo de color marrón oscuro.	30-40%	Buena	Buena	5-12	Soluble en soluciones alcalinas.	Bebidas alcohólicas, quesos, cereales, lácteos, sazónadores, helados, productos cosméticos y farmacéuticos.
Norbixina Hidrosoluble	Polvo encapsulado con maltodextrina. Secado por atomización.	7-14%	Buena	Buena	5-12	Soluble en agua.	Mezclas de sazónadores / saborizantes, lácteos, helados, productos cosméticos y farmacéuticos.
Norbixina Líquida	Norbixina solubilizada con hidróxido de potasio y propilenglicol.	2-5%	Buena	Buena	5-12	Soluble en agua.	Productos lácteos, bebidas, jugos, quesos, cereales, productos cosméticos y farmacéuticos
Norbixina Líquida Estable en Ácido	Norbixina solubilizada con hidróxido de potasio y polisorbato.	2-5%	Buena	Buena	3-12	Soluble en agua.	Bebidas ácidas, jugos, quesos, productos cosméticos y farmacéuticos.

Fuente: www.imbarex.com/es/nuestros-productos.xls

Polvo encapsulado con maltodextrina. Secado por atomización.

PRODUCTO	APARIENCIA	CONCENTRACIÓN	ESTABILIDAD			SOLUBILIDAD	APLICACIÓN
			TEMP.	LUZ	PH		
Carmin	Polvo fino, a base de quelato de aluminio y calcio, con coloración de rojo a azul.	20-60% (FCCII).	Excelente	Excelente	3.8-8	Insoluble en agua. Soluble en álcali.	Productos alimenticios y lácteos: quesos, carnes procesadas, compotas, salsas, bebidas alcohólicas, cosméticos y farmacéuticos
Carmin Morado	Polvo fino de color violeta a base de quelato de aluminio y calcio.	20-60% (FCCII).	Excelente	Excelente	3.8-8	Insoluble en agua. Soluble en álcali.	Productos alimenticios y lácteos: quesos, carnes procesadas, compotas, salsas, bebidas alcohólicas, cosméticos y farmacéuticos
Carmin Hidrosoluble	Polvo fino de color oscuro a base de quelato de aluminio y calcio. Solubilizado en álcali y seco por atomización.	20-60% (FCCII).	Excelente	Excelente	3.8-8	Soluble en agua.	Productos alimenticios y lácteos: quesos, carnes procesadas, compotas, salsas, bebidas alcohólicas, cosméticos y farmacéuticos
Carmin Líquido	Quelato de aluminio y calcio, solubilizado en álcali, propilenglicol y glicerina. Colores rojo - violeta.	2-5% (FCCII).	Excelente	Excelente	3.8-12	Soluble en agua.	Productos alimenticios y lácteos: quesos, carnes procesadas, compotas, salsas, bebidas alcohólicas, cosméticos y farmacéuticos
Carmin Estable al Ácido	Quelato de aluminio y calcio, solubilizado en álcali, propilenglicol y glicerina. Colores rojo - violeta. Resistente a los efectos de ácidos.	2-5% (FCCII).	Excelente	Excelente	3-12	Soluble en agua.	Productos alimenticios y lácteos: quesos, carnes procesadas, compotas, salsas, bebidas alcohólicas, cosméticos y farmacéuticos

Fuente: www.imbarex.com/es/nuestros-productos.xls