

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO QUÍMICO

TITULO

**“PROPUESTA TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE PROTEÍNAS
POR ATOMIZACIÓN A PARTIR DEL SUERO DE QUESO”**



AUTORES

BACH. FRANK VACALLA SANDOVAL

BACH. TITO SIGUSA SOUZA

**Iquitos- Perú
2014**

INTRODUCCION

En la actualidad los concentrados proteínicos en polvo son ingredientes primordiales en la fabricación de productos en la industria alimentaria y afines.

Es interesante reseñar que mientras que el mercado de suero en polvo y lactosa están estancado, el que ofrece los concentrados proteínicos están en franca expansión; el suero subproducto de la producción quesera, contiene aún una cantidad apreciable de proteínas de alto valor biológico (lactoalbúmina y lactoglobulina), ya que si se arroja sin tratamiento alguno, no sólo estamos desaprovechando una excelente fuente proteínica sino que estamos causando un grave problema de contaminación ambiental, luego por estas razones es interesante realizar un proyecto de recuperación de este subproducto.(07)

En este sentido la tecnología de secado por atomización representa una alternativa viable y apropiada para la industria de los alimentos de productos líquidos que son sensibles al calor y que no se pueden exponer a altas temperaturas durante períodos largos de tiempo.

Este producto es de elevada calidad comercial debido a la reducción del peso, facilidad de conservación de sabor, aroma y calidad en general, que los obtenidos por procesos de secado convencionales.(11)

RESUMEN

La composición proteica del lactosuero presenta diferencias notables dependiendo de la especie considerada. Mientras no se diga otra cosa, se hará referencia a la especie bovina. Las proteínas del lactosuero pueden ser de síntesis mamaria, como la α -lactalbúmina y la α -lactoglobulina, que representan conjuntamente el 70% de las proteínas del lactosuero de vaca, y la lactoferrina, o bien de transferencia sanguínea, como la albúmina y las inmunoglobulinas. Las propiedades funcionales del lactosuero vienen dadas por las de sus dos principales proteínas, α -lactalbúmina y α -lactoglobulina. Entre ellas destacan su solubilidad, incluso a pH 4,5, si no se calientan, sus propiedades emulsionantes y espumantes y su capacidad de gelificación. Se recuperan por ultrafiltración o intercambio iónico, con secado a temperaturas lo más bajas posible para evitar su desnaturalización.(15)

Los productos de suero pueden ser secados por atomización; sin embargo, requieren de sus propias técnicas de manejo. La distribución para suero secado por atomización puede variar de simple a sofisticada. En términos generales, el suero dulce (de queso) es más fácil de secar que el suero ácido. Las operaciones principales utilizadas para la producción de polvo de suero son:

Precalentamiento

Concentración

Enfriamiento instantáneo

Pre-cristalización

Secado por Atomización

Enfriamiento en un lecho fluidizado vibratorio (17)

INDICE

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 01 |
| RESUMEN | 02 |
| INDICE | 03 |
| CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES | 07 |
| 1.1. Antecedentes | 07 |
| 1.2. Definición del problema | 08 |
| 1.3. Objetivos del Proyecto | 09 |
| 1.3.1. Objetivo General | 09 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 09 |
| 1.4. Hipótesis | 10 |
| 1.5. Variables | 10 |
| 1.5.1. Variables Independientes | 10 |
| 1.5.2. Variables Dependientes | 10 |
| 1.6. Importancia de las proteínas | 10 |
| 1.7. Justificación | 11 |
| 1.7.1. Justificación técnica | 11 |
| 1.7.2. Justificación social | 12 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO | 13 |
| 2.1. Las Proteínas definición y concepto | 13 |
| 2.2. Clasificación de las proteínas | 14 |
| 2.2.1. Proteínas fibrosas | 14 |
| 2.2.2. Proteínas globulares | 15 |
| 2.3. Tipos de proteínas | 17 |
| 2.3.1. El pescado, fuente de proteínas | 19 |
| 2.3.2. Proteínas de la leche con funciones defensivas | 19 |
| 2.4. Estructura de las proteínas | 22 |
| 2.4.1. Estructura primaria | 22 |
| 2.4.2. Estructura secundaria | 22 |
| 2.4.3. Estructura terciaria | 23 |

| | |
|--|----|
| 2.4.4. Estructura cuaternaria | 24 |
| 2.5. Reacciones químicas en las proteínas | 24 |
| 2.6. Funciones de las proteínas en los seres vivos | 26 |
| 2.7. Digestión de proteínas | 28 |
| 2.8. Definición de Lactosuero | 30 |
| 2.9. Composición química del suero de queso | 31 |
| 2.9.1. Proteínas del lactosuero | 31 |
| 2.9.2. Lactosa | 34 |
| 2.9.3. Minerales | 35 |
| 2.10. Valor nutricional de las proteínas del lactosuero de queso | 35 |
| 2.11. Aprovechamiento industrial del suero de queso | 36 |
| 2.11.1. Obtención de proteínas | 36 |
| 2.11.2. Obtención de lactosa | 37 |
| 2.12. Principales procedimientos de recuperación de proteína | 37 |
| 2.12.1. Ultrafiltración o Separación Mediante Membranas | 37 |
| 2.12.2. Separación por Precipitación | 38 |
| 2.13. Teoría de la precipitación de las proteínas | 39 |
| 2.13.1. Precipitación de las proteínas por acción de la temperatura | 39 |
| 2.13.2. Precipitación de las proteínas por acción acida | 41 |
| 2.14. Secado por atomización de la proteína del suero de queso | 42 |
| 2.14.1. Componentes del Secador atomizador | 43 |
| 2.14.2. Factores que afectan los mat. desecados por atomización | 49 |
| 2.14.3. Mecanismo de secado por atomización | 50 |
| 2.14.4. Secador de pulverización niro-atomizer | 60 |
| 2.14.5. Procesos unitarios fundamentales en el secador Atomizador | 61 |
| 2.14.6. Eficiencia de calor en su secador atomizador | 72 |
| 2.14.7. Ventajas de secado por atomización | 72 |
| 2.14.8. Desventajas del sector por atomización | 74 |
| 2.14.9. Consideraciones para el diseño | 76 |

| | |
|--|-----|
| CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL | 77 |
| 3.1. Materiales y métodos | 77 |
| 3.2. Equipos | 77 |
| 3.2.1. Laboratorio | 77 |
| 3.2.2. Planta piloto | 77 |
| 3.3. Materiales y reactivo | 78 |
| 3.4. Métodos de análisis y control | 78 |
| 3.4.1. Físico - Químico | 78 |
| 3.4.2. Microbiólogo | 79 |
| 3.5. Características de la materia prima | 79 |
| 3.6. Metodología experimental | 80 |
| 3.7. Ensayos preliminares | 80 |
| 3.8. Descripción de las etapas del proceso | 81 |
| 3.9. Calculo de ingeniería | 85 |
| 3.9.1. Balance de material a nivel laboratorio | 85 |
| 3.9.2. Balance de energía en la precipitación de la proteína de suero queso a nivel laboratorio | 85 |
| 3.9.3. Calculo de sectores por atomización | 89 |
| 3.9.3.1. Balance de materia en el atomizador | 89 |
| 3.9.3.2. Balance de Energía en el atomizador | 91 |
| 3.9.3.3. Calculo del tiempo de secado en el atomizador | 93 |
| 3.10. Control de efluentes en el proceso de obtención de proteína | 100 |
| CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 104 |
| 4.1. Sobre el proceso de precipitación | 104 |
| 4.2. Sobre el secado por atomización | 106 |
| 4.3. Etapa final del proceso | 106 |
| 4.4. Características físicas de las proteínas en polvo | 107 |
| 4.5. Sobre la influencia de la temperatura de entrada de aire | 109 |
| 4.6. Relación de la temperatura con el tamaño de partículas | 112 |
| 4.7. Sobre la temperatura de salida de atomizador | 112 |

| | |
|-----------------|-----|
| CONCLUSIONES | 122 |
| RECOMENDACIONES | 124 |
| BIBLIOGRAFÍA | 126 |
| APÉNDICE | 129 |

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES DE LA OBTENCIÓN DE PROTEÍNAS A PARTIR DEL SUERO DE QUESO.

Se han desarrollado actividades, a lo largo de los años, en distintos aspectos y niveles de la cadena productiva de lácteos, a saber, en forma muy resumida:

- Evaluación de la calidad microbiológica y evaluación de distintos indicadores de calidad de leche fresca y pasteurizada; así como de quesos, crema de leche, manteca, yogur, leche cultivada (24)
- Se ha trabajado en la evaluación de la inocuidad de efluentes de tambos, de plantas procesadoras de leche, así como de la eficiencia de la conversión microbiológica de los mismos.(23)
- Se cuenta con experiencia en la identificación, tipificación genética y producción de distintos tipos de starters para la industria láctea (starters para yogur, quesos, prebióticos).(20)
- Evaluación de la biodegradabilidad de envases plásticos para leche.(27)

Proyectos en el área de la cadena láctea:

- "Mejora del rendimiento quesero". Financiamiento Consorcio Conaprole-Fundaquím. Responsable: Dr. A. Nieto.
- "Mejora del control de proceso de fabricación y de la calidad de queso por aplicación de técnicas ultrasónicas". Financiamiento PDT, Responsables: C. Negreira (Fac. Ciencias), R. Canetti y P. Lema (Fac. Ingeniería). Iniciado en 2006

- Dirección y Co-dirección de trabajos vinculados a: aprovechamiento de lactosuero en productos alimenticios, obtención de productos derivados a partir de lactosuero, recuperación de proteínas de lactosuero, utilización de espesantes en yogur (algunos trabajos fueron realizados con la Facultad de Química).

Publicaciones en el área de la cadena láctea:

- Goncalvez D., Pérez M., Reolón G., Segura N., Lema P., Gámbaro
- Várela P, and G. Ares. 2008. "Effect of thickeners on stirred yoghurt texture". Proceedings of 4th Mercosur Congress on Process System Engineering.
- Castro E., García R., Ortiz G., Stagno P., Castro J. y Lema, P. 2009. "Elaboración de un postre con WPC 60". 8º Congreso Panamericano de la Leche. 23-25 junio Miami.
- Gámbaro G., Aldrovandi A. y P. Lema. 2006. "Estudio de la relación entre parámetros instrumentales de textura y su evaluación sensorial en yogur". XI Seminario Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Chile.
- Alvarez M., Lazcano A., Loaces A., Ossi A., Lema P. y J. Castro. 2008. "Incorporación de proteínas séricas en queso fundido untable". Congreso Panamericano de la Leche. Cuba.
- L. agarmilla M., Grosso A., Tassani A., Valicosqui J., Lema P., Michelotti C. Y J. Castro. 2008." Obtención de lácteos de imitación a partir de leche de soja". II Encuentro Uruguayo de Ingeniería Química. Montevideo, Uruguay.
- Pérez G., Rodríguez D., Sundberg G., González A., Castro J., Lema P. 2009. "Elaboración de Bebida Isotónica de Permeado de Ultrafiltración de Lactosuero". 5tas. Jornadas Uruguayas de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Montevideo, Uruguay.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

En la actualidad los concentrados proteínicos en polvo son ingredientes primordiales en la fabricación de productos en la industria alimentaria y afines.

Mientras en el mercado de sueros en polvo y lactosa están paralizados, y los que ofrecen los concentrados proteínicos están en gran expansión en la industria de los quesos, el suero que viene a ser un subproducto, contienen un porcentaje muy apreciable de proteínas de alto valor energético (lactoalbúmina y lactoglobulina) en estas industrias queseras, al ser arrojadas sin tratamiento a los desagües, no solo estamos desaprovechando una excelente fuente proteínica que es el 80.12%, sino que se causa un foco de contaminación ambiental, por estas razones es interesante realizar un estudio de recuperación de este subproducto proveniente de la industria de los quesos.(01)

Motivo que nos inspira para plantearnos la siguiente interrogante:

¿Es posible realizar la Recuperación de Proteínas por Atomización del Suero de Queso?

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

1.3.1. Objetivo General.

La recuperación de proteínas por atomización a partir del suero de queso a nivel de laboratorio.

1.3.2. Objetivos Específicos.

Determinar el porcentaje de recuperación de proteínas por atomización a partir del suero de queso

Definir las variables de temperatura y acidez del suero para la precipitación de las proteínas.

Determinar los rangos de concentración de sólidos y los parámetros óptimos de secado por atomización del Suero de Queso.

Determinar la temperatura óptima del aire de ingreso y salida del atomizador.

1.4. **HIPÓTESIS.**

Si se atomiza el suero de Queso, es factible la recuperación de proteínas.

1.5. **VARIABLES.**

1.5.1. **Variables independientes.**

- Atomización del suero de queso.
- Sólidos totales
- pH
- Densidad
- Tamaño de partícula
- Proteínas totales
- Porcentaje de Grasa
- Porcentaje de ceniza
- Velocidad de secado
- Humedad crítica
- Tiempo de secado

1.5.2. **Variable dependiente.**

Recuperación de proteínas.

1.6. **IMPORTANCIA DE LAS PROTEÍNAS.**

La proteína del suero de la leche es muy popular entre los atletas practicantes del bodybuilding y se emplea fundamentalmente en la dieta ergogénica de este deporte con el objetivo de favorecer el metabolismo asociado a las reacciones de hipertrofia muscular (crecimiento muscular). Se comercializa en polvo soluble como *Suero de*

Queso VACALIN (COL), ARCOLEN (ARG), LEONES DE BLEEK SA (PR), LACTEOS VIDAL SA (ARG), CODEX ALIMENTARIUS (BRA) y se administran en forma de batidos con ciertos sabores y se valora como un elemento de aporte proteico. La cantidad de polvo se ajusta a las necesidades nutricionales de cada deportista y a sus objetivos. En algunos casos la ingesta de un 50% de las proteínas procede de los batidos de proteína de suero de leche. Los concentrados en polvo suelen tener un bajo contenido de grasas y colesterol lo que les hace idóneos como complemento de otra dieta baja en grasas.(18)

La creciente preocupación en mejorar el aprovechamiento de recursos naturales evitando, de esta forma, perjuicios al medio ambiente, hace que exista una búsqueda permanente de nuevos productos y tecnologías que optimicen los procesos, disminuyendo costos de producción y dando valor agregado a residuos con potencial comercial. La utilización de proteínas como ingredientes funcionales, es un ejemplo de estas nuevas tecnologías que torna posible el desarrollo de productos con características especiales, mejorando la calidad de los productos tradicionales, además de agregar valor a subproductos, que con frecuencia representan un problema para industrias, como es el caso del suero de queso.

Para la obtención de concentrados proteicos y lactosa de excelente calidad y alto valor agregado, es importante la eliminación de grasas del suero de queso. Esta eliminación es considerada esencial porque las grasas constituyen uno de los agentes de saturación que pueden contribuir, por ejemplo, para la disminución del flujo en el proceso con membranas, lo que puede ocasionar la obtención de productos con sabores alterados durante el almacenamiento.(13)

1.7. JUSTIFICACIÓN.

1.7.1. Justificación Técnica.

Desde el punto de vista tecnológico el secado por atomización, nos garantiza un alimento deshidratado que contiene una mínima cantidad de agua, donde los microorganismos no pueden proliferar y son retenidas la mayoría de reacciones químicas y enzimáticos de alteración y descomposición, esta técnica de secado tiene la finalidad de preservar al alimento, reducir el peso y algunas veces el volumen, constituyendo un gran aporte para poder transportar y almacenar grandes volúmenes de alimentos.

Esta técnica de secado tiene una gran particularidad de utilizar tiempos cortos en el proceso de desecación y temperaturas bajas que garantizan sus propiedades organolépticas de la materia prima. (14)

1.7.2. Justificación Social.

Desde el punto de vista social las proteínas de suero de queso es de gran calidad como en las proteínas de los huevos, su alto contenido de lisina lo encumbra como un complemento ideal en la alimentación del ser humano. Su alto valor biológico en proteínas (lactoalbumina y lactoglobulina) lo hacen muy importante en la dieta de los niños, adolescentes y ancianos por su alto contenido de Riboflavina y acidopantotenico. (18)

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. LAS PROTEÍNAS DEFINICIÓN Y CONCEPTO.

Las proteínas son cualquiera de los numerosos compuestos orgánicos constituidos por aminoácidos unidos por enlaces peptídicas que intervienen en diversas funciones vitales esenciales, como el metabolismo, la contracción muscular o la respuesta inmunológica. Son los componentes principales de las células y que suponen más de 50% del peso seco de los animales. El término proteína deriva del griego proteico, que significa primero.

Las moléculas proteicas van desde las largas fibras insolubles que forman el tejido conectivo y el pelo, hasta los glóbulos compactos solubles, capaces de atravesar la membrana celular y desencadenar reacciones metabólicas. Tienen un peso molecular elevado y son específicas de cada especie y de cada uno de sus órganos. Se estima que el ser humano tiene unas 30.000 proteínas distintas, de las que un 2% se ha descrito con detalle. Las proteínas sirven sobre todo para construir y mantener las células, aunque su descomposición química también proporciona energía, con un rendimiento de 4 kilocalorías por gramo, similar al de los hidratos de carbono. (04)

Además de intervenir en el crecimiento y el mantenimiento celular, son responsables de la contracción muscular. Las enzimas son proteínas al igual que la insulina y casi todas las demás hormonas, los anticuerpos del sistema inmunológico y la hemoglobina, que transporta oxígeno en la sangre. Los cromosomas, que transmiten los caracteres hereditarios en forma de genes, están compuestos por ácidos nucleicos y proteínas.

Las proteínas son biomoléculas formadas básicamente por carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno. Pueden además contener azufre y en algunos tipos de proteínas, fósforo, hierro, magnesio y cobre entre otros elementos. Pueden considerarse polímeros de unas pequeñas moléculas que reciben el nombre de aminoácidos y serian por lo tanto la monómera unidad. Los aminoácidos están unidos mediante enlaces peptídicos. La unión de un bajo número de aminoácidos da lugar a un péptido; si el $N = n^\circ$ de aminoácidos. Lo que forma la molécula N si esta es mayor de 10, es un polipéptido; se denomina oligopeptido, si N es superior a 50 aminoácidos. Se habla ya de proteína cuando N es mayor a 100 aminoácidos. (20)

2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS.

2.2.1. **PROTEÍNAS FIBROSAS:** A continuación se describen las principales proteínas Fibrosas: colágeno, queratina, Fibrinógeno y proteínas musculares.

COLÁGENO: El colágeno, que forma parte de huesos, piel, tendones y cartílagos, es la proteína más abundante de los vertebrados. La molécula contiene por lo general tres cadenas polipeptídicas muy largas, cada una formada por unos 1.000 aminoácidos, trenzadas en una triple hélice siguiendo una secuencia regular que confiere a los tendones y a la piel su elevada resistencia a la tensión. Cuando las largas fibrillas de colágeno se desnaturalizan por calor, las cadenas se acortan y se convierten en gelatina.

QUERATINA: La queratina, que constituye la capa externa de la piel, el pelo y las uñas en el ser humano y las escamas, pezuñas, cuernos y plumas en los animales, se retuerce o arrolla en una

estructura helicoidal regular llamada hélice α . La queratina protege el cuerpo del medio externo y es por ello insoluble en agua.

FIBRINOGENO: El fibrinógeno, es la proteína plasmática de la sangre responsable de la coagulación. Bajo la acción catalítica de la trombina, el fibrinógeno se transforma en la proteína insoluble fibrina, que es el elemento estructural de los coágulos sanguíneos.

PROTEÍNAS MUSCULARES: La miosina, que es la principal proteína responsable de la contracción muscular, se combina con la actina, y ambas actúan en la acción contráctil del músculo esquelético y en distintos tipos de movimiento celular. (05)

2.2.2. **PROTEÍNAS GLOBULARES:** A diferencia de las fibrosas, las proteínas globulares son esféricas y muy solubles. Desempeñan una función dinámica en el metabolismo corporal. Son ejemplos las albúminas, la globulina, la caseína, la hemoglobina, todas las enzimas y las hormonas proteicas. Albúminas y globulinas son proteínas solubles abundantes en las células animales, el suero sanguíneo, la leche y los huevos. La hemoglobina es una proteína respiratoria que transporta oxígeno por el cuerpo; a ella se debe el color rojo intenso de los eritrocitos.

ENZIMAS: Todas las enzimas son proteínas globulares que se combinan con otras sustancias llamadas sustratos, para catalizar las numerosas reacciones químicas del organismo. Estas moléculas, principales responsables del metabolismo y de su regulación, tienen puntos catalíticos a los cuales se acopla el sustrato igual que una mano a un guante para iniciar y controlar el metabolismo en todo el cuerpo.

HORMONAS PROTEICAS: Estas proteínas segregadas por las glándulas endocrinas, no actúan como las enzimas, sino que estimulan a ciertos órganos fundamentales que a su vez inician y controlan actividades importantes como el ritmo metabólico o la producción de enzimas digestivas y de leche. La insulina, segregada por los islotes de Langerhans en el páncreas regula el metabolismo de los hidratos de carbono mediante el control de la concentración de glucosa. La tiroxina, segregada por el tiroides regula el metabolismo global; y la calcitonina, también producida por el tiroides, reduce la concentración de calcio en la sangre, y estimula la mineralización ósea.

ANTICUERPOS: Los anticuerpos, también llamados inmunoglobulina, agrupan las miles de proteínas distintas que se producen en el suero sanguíneo como respuesta a los antígenos (sustancias u organismos que invaden el cuerpo). Un solo antígeno puede inducir la producción de numerosos anticuerpos, que se combinan con diversos puntos de la molécula antigénica, la neutraliza y la precipitan en la sangre.

MICROTUBULOS: las proteínas globulares pueden también agruparse en diminutos túbulos huecos que actúan como entramado estructural de las células y, al mismo tiempo transportar sustancias de una parte de la célula a otra. Cada uno de estos microtúbulos está formado por dos tipos de moléculas proteicas casi esféricas que se disponen por parejas y se unen en el extremo creciente del microtúbulo y aumentan su longitud en función de las necesidades. Los microtúbulos constituyen también la estructura interna de los cilios y flagelos, y apéndices de la membrana de los que se sirven algunos microorganismos para moverse. (05)

2.3. TIPOS DE PROTEÍNAS.

Las Heteroproteínas, están formadas por una fracción proteínica y por un grupo no proteínico, que se denomina "grupo prostético".

Cuadro N° 01: Las Heteroproteínas

| | |
|-----------------|--|
| Glucoproteínas | Ribonucleasa. Mucoproteínas. Anticuerpos. Hormona luteinizante |
| Lipoproteínas | De alta, baja y muy baja densidad, que transportan lípidos en la sangre. |
| Nucleoproteínas | Nucleosomas de la cromatina, Ribosomas. |
| Cromoproteínas | Hemoglobina, hemocianina, mioglobina, que transportan oxígeno; Citocromos, que transportan electrones. |

Fuente: Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos CHEFTEL, JEAN CLAUDE(2008)

FUENTES NATURALES DE LAS PROTEINAS:

Las Proteínas son obtenidas tanto a partir del reino animal, como del reino vegetal. De los 20 tipos de aminoácidos que suelen participar en nuestra alimentación, nueve de ellos son los .llamados aminoácidos esenciales, de los que el cuerpo ha de disponer siempre en nuestra dieta diaria. De ahí que no baste con que en la ración alimenticia haya el mínimo necesario, también a de aportarse la suficiente cantidad de estos aminoácidos esenciales. Este es uno de los argumentos para combatir las dietas estrictas, como por ejemplo, la dieta vegetariana (en las plantas o vegetales es donde los aminoácidos esenciales se encuentran en franca minoría o simplemente faltan). Aproximadamente la mitad de las proteínas necesarias para nuestra alimentación, son de origen animal, siendo la leche y sus productos derivados, los más completos ya que contienen casi todos los aminoácidos esenciales. Los niños, en edad de crecimiento precisan en su dieta, proporcionalmente, una mayor cantidad de proteínas que los adultos.

ALIMENTOS RICOS EN PROTEÍNAS: Son los siguientes:

Cuadro N° 02:Dosis de Proteínas en alimentos de la dieta diaria

| Materia Alimenticia Vegetal | % Proteínas | Materia Alimenticia Animal | % Proteínas |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Legumbres | 24% | Carne Magra | 20% |
| Harina de Trigo | 11% | Carne Grasa | 15% |
| Frejol | 19.5 | Leche de Vaca | 3% |
| Lentejas | 25% | Huevos | 13% |
| Frutas | 2% | | |

Fuente: Ingeniería de los alimentos, EARLE,R.L. 2008

La carne, el pescado y los huevos aportan todos los aminoácidos esenciales que el cuerpo necesita para ensamblar sus propias proteínas. La carne contiene un 20% de proteína, 20% de grasa y 60% de agua. Las vísceras son fuentes ricas en vitaminas y minerales. Todos los pescados contienen un alto porcentaje de proteínas, y los aceites de algunos de ellos son ricos en vitaminas D y A. La clara del huevo es la forma más concentrada de proteína que existe. Las legumbres o leguminosas abarcan una amplia variedad de frijoles o judías, chícharos o guisantes, lentejas y granos, e incluso el maní. Todos ellos son ricos en almidón, pero aportan más proteínas que los cereales o tubérculos. La proporción y el tipo de aminoácidos de las leguminosas es similar a los de la carne.

Sus cadenas de aminoácidos a menudo complementan a las del arroz, el maíz y el trigo, que constituyen los alimentos básicos de muchos países.

La leche y sus derivados incluyen la leche entera, el queso, el yogur y los helados, todos ellos conocidos por su abundancia en proteína, fósforo y en especial calcio. La leche también es rica en vitaminas pero no contiene hierro y, si es pasteurizada, carece de vitamina C. Aunque la leche es esencial para los niños, su excesivo consumo por parte de los adultos puede producir ácidos grasos saturados que se acumulan en el sistema circulatorio.

2.3.1. El pescado, fuente de proteínas.

Las proteínas son sustancias esenciales para nuestro organismo, ya que podemos decir que todas las células de nuestro cuerpo las necesitan para desarrollarse y reproducir. Por lo que si no hay un aporte de proteínas suficiente al día el desarrollo de nuestro cuerpo podría verse perjudicado. Los alimentos aportan esta fuente de proteínas, pero a veces, contienen a su vez, muchas grasas y calorías. Hoy podemos afirmar que el pescado presenta un elevado contenido en proteínas y muy pocas grasas lo que no podemos decir de la leche, la carne y los huevos que tradicionalmente se habían valorado mucho. (05)

2.3.2. Proteínas de la leche con funciones defensivas.

La leche es el alimento de todos los mamíferos durante las primeras etapas tras el nacimiento. Su composición resulta muy notable, ya que la mayoría de sus componentes se sintetizan especialmente para formar parte de ella, y no se encuentran en ninguna otra parte del organismo. Así, la lactosa, que es el azúcar de la leche, no se encuentra en cantidad significativa en ningún otro tejido, animal o vegetal. Por lo que respecta a las proteínas, sucede lo mismo; las más abundantes son también exclusivas de la leche, aunque algunas aparecen en ella transferidas desde la sangre.

Mediante la leche, la madre suministra a su cría todos los nutrientes que necesita, tanto para cubrir sus necesidades de energía (en forma de azúcares o grasa), como de proteínas, vitaminas y minerales. También le suministra sustancias biológicamente activas, como enzimas, factores de crecimiento y agentes protectores frente a los microorganismos.

Hay que tener en cuenta que en los momentos inmediatamente posteriores al nacimiento, la cría no tiene todavía establecidos sus mecanismos inmunológicos de defensa, ni siquiera una flora intestinal propia, por lo que la leche contiene factores que favorecen la proliferación de la flora beneficiosa e impiden la proliferación de una flora patógena.

El color blanco de la leche se debe en parte a la grasa que contiene, pero fundamentalmente a una familia especial de proteínas, exclusivas de la leche y que son las que más abundan en ella, las caseínas. Estas proteínas se encuentran asociadas entre sí y con iones de calcio, formando estructuras relativamente grandes que dispersan la luz. Sin embargo, algunas otras proteínas de la leche tienen colores particularmente vistosos: la lactoferrina es roja, mientras que la lactoperoxidasa es verde, en ambos casos debido a la presencia de iones de hierro asociados, aunque en distinta forma en cada una de ellas. En estos casos, la baja concentración en la que se encuentran en la leche hace que sus peculiares colores sean inapreciables si estas proteínas no se aíslan y se concentran previamente. (01)

Muchas de las proteínas que se encuentran en la leche tienen funciones biológicas especializadas. Algunas de ellas actúan en la glándula mamaria, participando en la elaboración de componentes como la lactosa y la grasa. Otras facilitan la asimilación por el lactante de algunos componentes de la leche, o intervienen en la protección de la glándula mamaria o del recién nacido frente a los microorganismos causantes de infecciones. Aunque estas proteínas se encuentran en pequeñas cantidades, su función biológica es pues claramente muy importante. Algunas de ellas

pueden extraerse y emplearse en productos destinados a la mejora de la salud humana.

Evidentemente, la leche más adecuada es la de la propia especie, ya que cada una nace con diferente grado de desarrollo, con diferentes necesidades de protección y, en muchos casos, utiliza para ello distintos mecanismos. En consecuencia, la mejor leche para un niño en sus primeros meses de vida es la leche materna, y así lo recomiendan todos los expertos. Cuando se utilizan leches artificiales, elaboradas a partir de leche de vaca, es necesario modificar muchos parámetros de su composición, reduciendo el contenido de sales minerales, modificando las proporciones de las diferentes proteínas, sustituyendo la grasa de la leche de vaca por otra más insaturada y añadiendo algunas vitaminas. Aún con todos estos cambios, la leche artificial sigue siendo inferior a la humana; en particular carece absolutamente de todos los sistemas de defensa que la madre transmite a través de la secreción láctea, y que son importante sobre todo frente a los microorganismos causantes de diarreas. Carece también de un enzima que se encuentra exclusivamente en la leche humana, la lipasa activada por las sales biliares, que facilita la digestión de la grasa de la leche.

El organismo humano produce aminoácidos "no esenciales" y requiere la ingestión de ocho o nueve aminoácidos "esenciales". Estos se encuentran en los productos animales o vegetales como los huevos, leche, pescado, (que ya mencionamos), carne, aves, soja y frutos secos. Las proteínas de alta calidad como los huevos, la carne o el pescado, proporcionan todos los aminoácidos esenciales que se necesitan en la dieta y se denominan "proteínas completas". Las "proteínas incompletas" aportan sólo unos cuantos aminoácidos esenciales y necesitan

tomarse en combinación con otros productos proteicos para mantener el equilibrio. Por ejemplo, un bocadillo de crema de cacahuete: el pan es rico en metionina y la crema de cacahuete es rica en lisina. Como en la mayoría de los alimentos, demasiada proteína en la dieta puede causar problemas. Un exceso de proteínas acaba con la energía del organismo (después de la utilización de los hidratos de carbono y de las grasas), o, si no se utiliza, se transforma en grasa. Una dieta alta en proteínas animales aumenta la pérdida de calcio. (18)

2.4. **ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS.**

La organización de una proteína viene definida por cuatro niveles estructurales denominados: estructura primaria, estructura secundaria, estructura terciaria y estructura cuaternaria. Cada una de estas estructuras informa de la disposición de la anterior en el espacio.

2.4.1. **ESTRUCTURA PRIMARIA:**

ala arg asn asp cys gin glu
gly his ile leu lys met phe
pro ser thr trp tyr val

La estructura primaria es la secuencia de aminoácidos de la proteína. Nos indica qué aminoácidos componen la cadena polipeptídica y el orden en que dichos aminoácidos se encuentran. La función de una proteína depende de su secuencia y de la forma que ésta adopte.

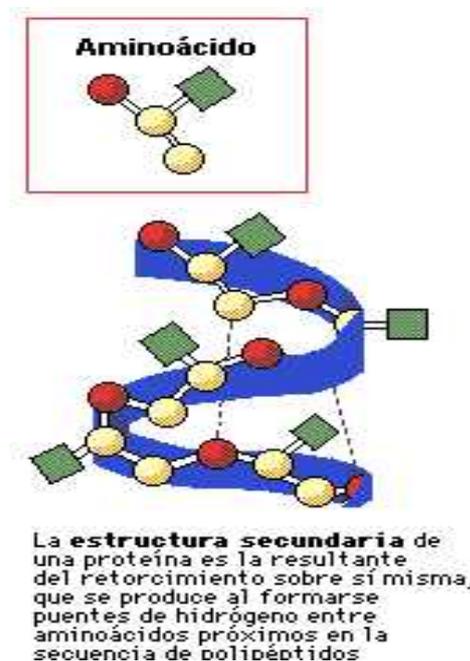
2.4.2. **ESTRUCTURA SECUNDARIA:**

La estructura secundaria es la disposición de la secuencia de aminoácidos en el espacio. Los aminoácidos, a medida que van siendo enlazados durante la síntesis de proteínas y gracias a la

capacidad de giro de sus enlaces, adquieren una disposición espacial estable, la estructura secundaria. Existen dos tipos de estructura secundaria:

- La α (alfa)- hélice
- La conformación beta

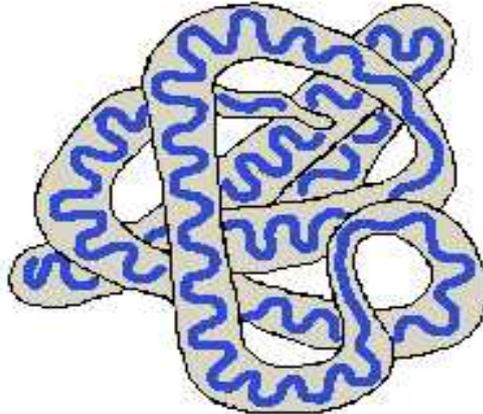
Esta estructura (Alfa Hélice) se forma al enrollarse helicoidalmente sobre sí misma la estructura primaria. Se debe a la formación de enlaces de hidrógeno entre el $-C=O$ de un aminoácido y el $-NH-$ del cuarto aminoácido que le sigue. En esta disposición (Conformación Beta), los aminoácidos no forman una hélice sino una cadena en forma de zigzag, denominada disposición en lámina plegada. Presentan esta estructura secundaria la queratina de la seda o fibrina.



2.4.3. ESTRUCTURA TERCIARIA:

La estructura terciaria informa sobre la disposición de la estructura secundaria de un polipéptido al plegarse sobre sí misma originando una conformación globular.

En definitiva, es la estructura primaria la que determina cuál será la secundaria y por tanto la terciaria.



La estructura terciaria tridimensional de una proteína resulta de la interacción entre aminoácidos de diferentes puntos de la estructura secundaria enrollada.

Esta conformación globular facilita la solubilidad en agua y así realizar funciones de transporte, y se mantiene estable gracias a la existencia de enlaces entre los radicales R de los aminoácidos.

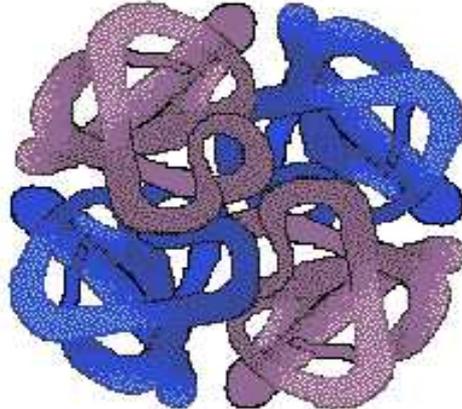
Aparecen varios tipos de enlaces:

- El puente disulfuro entre los radicales de aminoácidos que tiene azufre.
- Los puentes de hidrógeno
- Los puentes eléctricos
- Las interacciones hidrófobas.

2.4.4. **ESTRUCTURA CUATERNARIA:**

Esta estructura informa de la unión, mediante enlaces débiles (no covalentes) de varias cadenas polipeptídicas con estructura terciaria, para formar un complejo proteico. Cada una de estas cadenas polipeptídicas recibe el nombre de protómero. El número de protómeros varía desde dos como en la hexoquinasa, cuatro

como en la hemoglobina, o muchos como la cápsida del virus de la poliomielitis, que consta de 60 unidades proteicas. (05)



Cuando dos o más cadenas de polipéptidos se entrelazan para formar una molécula de proteína, se da la **estructura cuaternaria**.

2.5. REACCIONES QUÍMICAS EN LAS PROTEÍNAS:

Si a una Proteína se le somete a cambios de temperatura (huevo cocido o frito), cambios de pH, concentraciones salinas elevadas, etc., se rompen los enlaces que constituyen las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria.

A este fenómeno se le denomina Desnaturalización y en algunos casos puede ser reversible, o sea la proteína puede volver a adoptar la configuración primitiva, al cesar la acción del o los agentes desnaturalizantes a este fenómeno se le llama Renaturalización. Todas las proteínas desnaturalizadas tienen la misma conformación, muy abierta y con una interacción máxima con el disolvente, por lo que una proteína soluble en agua cuando se desnaturaliza se hace insoluble en el agua y precipita.

Las proteínas de por sí son una reacción química, ya que estas grandes moléculas se forman a través de reacciones de polimeración de aminoácidos.

Cuando las moléculas de dos productos, colisionan puede ser que reaccionen dando lugar a la aparición de un nuevo compuesto. Es lo que se denomina reacción química. Así, los dos aminoácidos anteriores pueden reaccionar entre sí, entonces, la unión entre dos aminoácidos se origina por la reacción entre el grupo amino de uno de ellos, con el grupo carboxilo del otro, liberándose una molécula de agua. El enlace formado recibe el nombre de Peptídico. El enlace Peptídico tiene un comportamiento similar al de un enlace doble, es decir, presenta una cierta rigidez que inmoviliza en un plano los átomos que lo forman.

Al ya conocer las fórmulas químicas de los dos aminoácidos y del agua, no es difícil deducir la del nuevo producto resultante: $[N(H_2)]-[C(H_2)]-(CO)-(NH)-CH[C(H_3)]-(COOH)$. Se trata de una molécula con 20 átomos, cuyo nombre genérico es este Péptido.

La unión de dos aminoácidos, por lo tanto, origina un dipéptido, la unión de tres un tripéptido y así sucesivamente formándose los polipéptidos. Cuando un polipéptido está constituido por más de 100 unidades de aminoácidos o su peso molecular es superior a 5.000, se le considera una Proteína.

Pero, de la sencilla reacción entre los dos aminoácidos mencionados también podría surgir un péptido diferente al de la fórmula anterior. El antes representado es el péptido glicocola-alanina(aminoácidos). Y el otro que podría resultar es el péptido alanina-glicocola, cuya fórmula es $[N(H_2)]-CH[C(H_3)HCO]-(NH)-[C(H_2)HCOOH]$.

La reacción entre dos aminoácidos siempre puede generar dos dipéptidos. En uno de ellos, uno de los aminoácidos aporta el grupo

amino al enlace y el otro interviene con el grupo ácido, mientras que en el otro dipéptido sucede a la inversa. Por ello pueden surgir dos estructuras diferentes.

Así con los veinte más frecuentes, llamados aminoácidos proteicos, por ser los que precisamente se encuentran en las proteínas, se podrían formular 399 dipéptidos diferentes, y el número crecería por un factor de 20 para tripéptidos, y así sucesivamente. De esta manera podríamos imaginarnos la variedad y cantidad de posibilidades cuando hablamos de Proteínas. Con estos antecedentes, la fórmula química de una proteína sería una larga sucesión de aminoácidos unidos. (05)

2.6. **FUNCIONES DE LAS PROTEÍNAS EN LOS SERES VIVOS.**

Las funciones de las Proteínas son muy variadas y de acuerdo con su función se pueden clasificar en varios grupos:

- Estructurales: Forman Parte de los músculos, pelo, uñas, ligamentos y sustancias intercelulares.
- Catalizadores. Corresponden a este grupo, las Enzimas, que son proteínas y cumplen la función de controlar las reacciones biológicas.
- Inmunológicas: Los anticuerpos son proteínas y ejercen una función defensiva.
- Mediadoras: Estas proteínas juegan un papel esencial como enzimas en la transmisión de los impulsos nerviosos. Otros fabrican hormonas como la insulina, y otras transportan oxígeno (la hemoglobina) u otras sustancias.

Dentro de estas funciones, las proteínas son importantes en los seres vivos ya que: dan forma a las células, las enzimas catalizan las reacciones químicas; algunas actúan como mensajeros: anticuerpos, hormonas. En el sistema nervioso central los péptidos y proteínas tienen además funciones específicas en la neurotransmisión. Nuestro interés se ha centrado en la acetilcolinesterasa enzima que hidroliza el

neurotransmisor acetilcolina y a la cual se le han asignado también funciones no colinérgicas. La Distrofina es la proteína ausente en los músculos de los pacientes con miopatía tipo Duchenne y Backer. La Utrofina existe también en el sistema nervioso central, así como también se han encontrado promotores giales y neuronales de esta proteína, no obstante su función se desconoce. Para explorar su función hemos decidido purificar las Distrofinas de músculo de conejo y de órgano eléctrico de torpedo para producir anticuerpos monoclonales que se utilizarán para la caracterización de tales proteínas.

La función primordial de la proteína es producir tejido corporal y sintetizar enzimas, algunas hormonas como la insulina, que regulan la comunicación entre órganos y células, y otras sustancias complejas, que rigen los procesos corporales. Las proteínas animales y vegetales no se utilizan en la misma forma en que son ingeridas, sino que las enzimas digestivas (proteasas) deben descomponerlas en aminoácidos que contienen nitrógeno. Las proteasas rompen los enlaces de péptidos que ligan los aminoácidos ingeridos para que éstos puedan ser absorbidos por el intestino hasta la sangre y reconvertidos en el tejido concreto que se necesita. (06)

Es fácil disponer de proteínas de origen animal o vegetal. Como ya hemos mencionado, de los 20 aminoácidos que componen las proteínas, ocho se consideran esenciales es decir: como el cuerpo no puede sintetizarlos, deben ser tomados ya listos a través de los alimentos. Si estos aminoácidos esenciales no están presentes al mismo tiempo y en proporciones específicas, los otros aminoácidos, todos o en parte, no pueden utilizarse para construir las proteínas humanas. Por tanto, para mantener la salud y el crecimiento es muy importante una dieta que contenga estos aminoácidos esenciales. Cuando hay una carencia de alguno de ellos, los demás aminoácidos se convierten en compuestos productores de energía, y se excreta su nitrógeno. Cuando se ingieren proteínas en exceso, lo cual es frecuente en países con dietas ricas en

carne, la proteína extra se descompone en compuestos productores de energía.

Dado que las proteínas escasean bastante más que los hidratos de carbono aunque producen también 4 calorías por gramo, la ingestión de carne en exceso, cuando no hay demanda de reconstrucción de tejidos en el cuerpo, resulta una forma ineficaz de procurar energía. Los alimentos de origen animal contienen proteínas completas porque incluyen todos los aminoácidos esenciales. En la mayoría de las dietas se recomienda combinar proteínas de origen animal con proteínas vegetales. Se estima que 0,8 gramos por kilo de peso es la dosis diaria saludable para adultos normales. Muchas enfermedades e infecciones producen una pérdida continuada de nitrógeno en el cuerpo. Este problema debe ser compensado con un mayor consumo de proteína dietética. Así mismo, los niños también precisan más proteína por kilogramo de peso corporal. Una deficiencia de proteínas acompañada de falta de energía da origen a una forma de mal nutrición proteico-energética conocida con el nombre de marasmo, que se caracteriza por pérdida de grasa corporal y desgaste de músculos. (05)

2.7. **DIGESTIÓN DE PROTEÍNAS:**

La mayoría de los aminoácidos ingeridos en la dieta de los vertebrados, se hallan principalmente en forma de proteínas. Los aminoácidos sólo pueden incorporarse a las rutas metabólicas en forma libre por ello, las proteínas y péptidos ingeridos en la dieta, son hidrolizados primeramente por enzimas proteolíticas en el tracto intestinal. Estas enzimas son secretadas por el estómago, páncreas e intestino delgado. Como las cantidades de proteínas de la dieta son demasiado grandes para ser absorbidas por las células del proceso de digestión, son degradados en elementos más simples gracias a los mecanismos de acción de las enzimas, los cuales son altamente específicos. En el caso de las proteínas, estas enzimas, degradan proteínas en aminoácidos, para que las células del intestino las absorban y se provoque una buena digestión.

Prácticamente la totalidad de estas enzimas son proteínas. La digestión de proteínas comienza en el estómago. La entrada de proteínas al estómago estimula la secreción de gastrina, la cual a su vez estimula la formación de HCl; esta acidez actúa como un antiséptico y mata a la mayoría de los entes patógenos que ingresan al tracto intestinal. Las proteínas globulares se desnaturalizan a pHs ácidos, lo cual ocasiona que la hidrólisis de la proteína sea más accesible.

En el estómago, la pepsina (PM 33kD), de una sola cadena, es secretada en forma de su zimógeno, el pepsinógeno (PM 40kD) por las células de la mucosa gástrica. El pepsinógeno se convierte en pepsina por el corte (catalizado por la misma enzima) de 42 residuos del extremo amino-terminal, proceso que es favorecido por el pH ácido del jugo gástrico. La pepsina no es muy específica, hidroliza los enlaces en los que intervienen aminoácidos aromáticos, aunque también lo hace donde hay Met y Leu. El producto de la catálisis de esta enzima son péptidos de tamaño variable y algunos aminoácidos libres. A este tipo de proteasa, se le denomina endopeptidasa para diferenciarla de las enzimas que cortan desde cualquiera de los extremos de la cadena que se denominan exopeptidasas.

A medida que los contenidos ácidos del estómago pasan al intestino delgado, se dispara la síntesis de la hormona secretina a la sangre. Esta enzima estimula al páncreas para secretar bicarbonato en el intestino delgado para neutralizar el pH alrededor de 7.0. La entrada de los aminoácidos en la parte superior del intestino (duodeno) induce la liberación de la hormona colecistocinina, que estimula la liberación de muchas enzimas pancreáticas cuya actividad catalítica se realiza entre 7 y 8 unidades de pH. El jugo pancreático secretado al intestino delgado aporta los zimógenos de tripsina, quimotripsina, tripsinogeno, carboxipeptidasas A y B y elastasa.

Por ejemplo, el quimotripsinógeno (PM 24kD) da origen a la quimotripsina por separación de 2 dipéptidos. Este precursor es una cadena de 245 aminoácidos que se mantiene unida por dos puentes disulfurointracatenarios. Su conversión a alfa-quimotripsina se debe a la hidrólisis enzimática de 4 enlaces peptídicos por acción de la tripsina y quimotripsina consecutivamente:

- La pancreatitis, condición dolorosa y a menudo fatal, se caracteriza por la activación prematura de proteasas secretadas por el páncreas.
- La quimotripsina hidroliza enlaces peptídicos que contiene grupos carbonilo de aminoácidos aromáticos.
- El tripsinogeno (MW 24kD), da origen a la tripsina por separación de un hexapéptido del amino-terminal por acción' de la enterocinasa. La tripsina hidroliza enlaces en los que intervienen Arg y Lys.
- Carboxipeptidasa A (MW 34kD), contiene Zn^{++} , hidroliza casi todos los tipos de enlaces peptídicos en los cuales intervengan carboxilos terminales.

Como resultado de la acción de la pepsina en el estómago seguida de la acción de las proteasas pancreáticas, las proteínas se convierten en péptidos cortos de diversos tamaños y aminoácidos libres. Los péptidos se degradan para dar aminoácidos libres por acción de las peptidasas de la mucosa intestinal, particularmente la leucin-amino-peptidasa, que también contiene Zn^{++} , y separa los restos amino-terminales de los péptidos. Los aminoácidos libres resultantes, son excretados al torrente sanguíneo, de ahí alcanzan el hígado en donde tiene lugar la mayoría del metabolismo ulterior, incluida su degradación. Las proteínas endógenas también tienen que degradarse, al parecer después de un tiempo (que depende de la velocidad con la que catalizan su reacción y dependiendo si son o no enzimas constitutivas), poco a poco adquieren señales como desaminación o metilación que indican a las proteasas el momento de la degradación. (13)

2.8. **DEFINICIÓN DE LACTOSUERO:**

El lactosuero es un líquido que se obtiene por la coagulación de la leche en la elaboración del queso cuyo rendimiento es el 86.5%, una vez que se separan la cuajada del queso (la caseína) y la grasa.

El suero es el líquido que queda después de la separación en la fabricación del queso.

El lactosuero es el líquido claro amarillento que se separa de la cuajada durante la fabricación del queso. (01)

2.9. **COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUERO DE QUESO:**

El extracto seco del lactosuero dulce está compuesto esencialmente por lactosa, proteínas y minerales. Es rico en riboflavina y ácido pantoténico. La composición del lactosuero se detalla en la Cuadro 03.

El lactosuero dulce que se obtiene en la coagulación enzimática de la leche, contiene restos de cuajo activo y un gran número de bacterias que proceden principalmente del crecimiento del fermento láctico durante la fabricación del queso.

En general, la temperatura del lactosuero durante el proceso es de alrededor de 38° C. El lactosuero dulce tiene un pH próximo a 6,2 y contiene restos de materia grasa y partículas de cuajada que se han separado del queso que se está fabricando.

La composición del lactosuero es diferente según el tipo de queso. Por coagulación ácida, se obtiene un lactosuero más ácido que tiene una composición mineral muy diferente a la del lactosuero dulce. (04)

2.9.1. **PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO:**

El lactosuero contiene un 0,8 % de proteínas (albúminas y globulinas), llamadas proteínas séricas o del lactosuero, que participan con un 20% en la proporción total de proteínas de leche (la proporción de albúminas es aproximadamente del 16-18% y la de globulinas del 2 - 4%). Al contrario de lo que ocurre en la caseína, estas proteínas no contienen nada o casi nada de fósforo

(30). Las proteínas del lactosuero son solubles en agua, con las que forman soluciones coloidales perfectas a concentraciones de hasta el 25%. Tienen un gusto neutro, y por tanto son mucho más agradables de consumir que las caseínas y los caseínatos.

Su color puede variar de blanco a crema, según la naturaleza del lactosuero utilizado.

Cuadro 03. COMPOSICIÓN MEDIA DEL LACTOSUERO DE QUESO.

| | |
|------------------|------------|
| Agua | ≡ 93.80 % |
| Lactosa | 5.0 |
| Proteínas | 0.8 |
| Minerales | 0.5 |
| Potasio (K) | 0.147 |
| Calcio (Ca) | 0.043 |
| Fosforo (P) | 0.040 |
| Sodio (Na) | 0.60 |
| Grasa | 0.30 |
| Riboflavina | 1.20 mg/Kg |
| Niacina | 0.85 |
| AcidoPantotenico | 3.40 |
| Tianina | 0.40 |

Fuente: "Ciencia y Tecnología de la Leche" J. Amiot (2008)

Tienen propiedades funcionales muy interesantes, como son su poder emulsionante en presencia de materia grasa, su poder gelificante por coagulación con el calor y su poder espumante.

Las albúminas y las globulinas de la leche son muy diferentes a las caseínas. Son emulsoides verdaderas en el sentido que presentan una fuerte afinidad por el agua. Para coagular estas proteínas no basta con neutralizar sus cargas, es necesario disminuir su grado de hidratación, bien con el calor o con el alcohol. Por esta razón las albúminas y globulinas no coagulan con la caseína por simple acidificación a pH 4,6.

-Lactoqglobulina.

Es la más importante de las proteínas del suero. Su peso molecular es de 18,000 pero en la literatura se da a veces el de

36,000 debido a que tiene una gran tendencia a formar polímeros compuestos por dos cadenas polipeptídicas iguales. Se caracteriza por su solubilidad en una solución diluida de sales neutras y por su baja solubilidad en agua pura.

La composición en aminoácidos de la β -lactoglobulina es bien conocida y se sabe que para la β -lactoglobulina de la leche de vaca hay por lo menos cuatro variantes genéticas (A, B, C y D) que se distinguen la una de la otra por la sustitución de ciertos aminoácidos en la cadena proteica. Sus puntos isoeléctricos van de 5,2 a 5,6. Estas variantes se diferencian por su solubilidad y por su mayor o menor aptitud a polimerizarse y modificar su estructura según el pH.

Es la proteína más abundante en el lactosuero de la leche de vaca, que contiene de 2 a 3 gramos por litro.

La β -Lactoglobulina posee numerosos grupos -SH que son responsables del desprendimiento del hidrógeno sulfurado que se produce cuando la leche se calienta por encima de 70° C.

α -Lactoalbúmina

La α -lactoalbúmina representa el 23 % de las proteínas del suero de queso. Su peso molecular es de 16,000 y contiene ácido glutámico y leucina en posiciones terminales. Es muy soluble en agua y su punto isoeléctrico es 4,8. En comparación con la α -lactoglobulina, es poco soluble en soluciones diluidas de sales neutras.

Tiene un punto isoeléctrico de 5,1 es insoluble en una zona comprendida entre 4,0 y 5,5. A un lado y otro de esta zona la molécula sufre modificaciones de conformación rápida o lenta, reversible o no, que conducen a diversas formas polimerizadas.

Albúmina Sérica,

La albúmina representa el 5% de las proteínas del suero. Es exactamente igual que la albúmina del suero sanguíneo. Es una proteína de peso molecular 65,000 y su punto isoeléctrico es de 4,7. Es especialmente rica en usina y cistina y contiene ácido aspártico y alanina en posiciones terminales. Es muy soluble en agua y se puede cristalizar a partir de una solución concentrada de sulfato amónico.

Lacto globulinas

Las lactoglobulinas de la leche representan el 20% de las proteínas del suero. Estas globulinas se caracterizan por tener un elevado peso molecular (180,000) y porque contienen una parte glucídica. Son menos solubles en agua que las lactoalbúminas y precipitan en una solución semi-saturada de sulfato amónico. La euglobulina, de punto isoeléctrico 6,0, es una verdadera globulina insoluble en agua. La pseudoglobulina o falsa globulina, llamada así porque no se puede cristalizar por diálisis, tiene un punto isoeléctrico de 5,6.

Se les llama inmunoglobulinas por sus importantes propiedades inmunológicas. Su presencia en gran proporción en el calostro es esencial para transmitir al animal joven los anticuerpos necesarios para la lucha contra las infecciones. Se cree que también contribuyen al sistema antibiótico de la leche cruda. (16)

2.9.2. LACTOSA

La lactosa, es el carbohidrato característico de la leche. Esta compuesta por dos monosacáridos, glucosa y galactosa. La lactosa se presenta en forma de alfa o beta existiendo una disolución acuosa entre ambas formas de equilibrio. El calentamiento por encima de los 93.5° C rompe este equilibrio al cristalizar la α -lactosa en forma de monohidrato de α -lactosa. Este producto de la cristalización es la lactosa comercial.

El poder edulcorante es a diferencia del de otros disacáridos, bastante reducido (aproximadamente del 30% del azúcar de remolacha), siendo también su solubilidad, en comparación con otros azúcares, considerablemente menor. (05)

2.9.3. MINERALES

La contribución nutritiva más importante de la leche y los productos lácteos se debe a su elevado contenido en elementos minerales, principalmente en Ca, P y Mg

Según, en el lactosuero los minerales residuales no presentan un interés particular. Se tratan principalmente de cloruros, lactatos y algo de fosfatos, sobre todo de K y, en menor medida, de Ca y de Na. (14)

2.10. VALOR NUTRICIONAL DE LAS PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO DE QUESO

Las proteínas del suero lácteo son de excepcional calidad, ya que, como ocurre con las proteínas del huevo, no son deficientes en ningún aminoácido. Además, su alto contenido en usina (11% en la β -lactoglobulina y 10-11 % en la α -lactoalbúmina) lo hace un complemento ideal para las raciones de cualquier organismo en crecimiento. En el plano nutritivo; las proteínas del suero lácteo tiene una valor biológico superior al de la caseína .De estas consideraciones se reduce que su extracción es de gran interés.

Las proteínas del lactosuero representan una décima parte del extracto seco. Aunque estas proteínas tengan un alto valor biológico y nutritivo su extracción no se justificaría si no fuese por que son muy valoradas.

Experimentos in vivo realizados con ratas y otras especies animales, han demostrado la excelente calidad nutritiva (Coeficiente de Eficacia Proteica - C.E.P., Valor Biológico-V.B., Digestibilidad y Utilización Proteica Neta - V.P.N., etc.) de las proteínas de la leche, sobre todo para los niños en

desarrollo, que tienen mayores necesidades cuantitativas y cualitativas para la formación de nuevos tejidos. Luego las proteínas del suero lácteo son importantes ya que su valor es superior al de las proteínas de la clara de huevo, tomadas como proteínas de referencia son muy ricas en aminoácidos esenciales especialmente lisina y triptófano. (12)

2.11. APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DEL SUERO DE QUESO

El tratamiento industrial ofrece dos posibilidades:

- Concentración del lactosuero completo: el concentrado resultante o el polvo obtenido de éste, se destinan principalmente a la producción de alimentos de alto valor para el ganado.
- Obtención de una serie de componentes aislados del lactosuero:

2.11.1. OBTENCIÓN DE PROTEÍNAS

Actualmente se está realizando grandes esfuerzos para dirigir estas proteínas a la alimentación humana en vez de a la alimentación animal.

Desde este punto de vista es interesante la posibilidad de reintegrar las proteínas séricas directamente al proceso de producción de queso, lo que a su vez permite incrementar el valor nutritivo y biológico del queso.

Estas proteínas también se pueden aprovechar en la industria de panificación, en la de productos dietéticos, en la de pastelería y en la industria farmacéutica.

**Cuadro N° 04 COMPOSICIÓN EN AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE LAS
DIFERENTES PROTEÍNAS EN gr/100gr DE PROTEÍNA**

| | Proteínas del suero | Albúmina del huevo | Caseína | Proteínas Totales de la leche | Soya |
|--------------|---------------------|--------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| Isoleucina | 6.55 | 6.45 | 5.80 | 6.10 | 5.15 |
| Leucina | 14.00 | 8.30 | 9.50 | 10.0 | 7.85 |
| Usina | 10.90 | 7.05 | 7.60 | 7.90 | 6.20 |
| Metionina | 2.35 | 3.40 | 2.95 | 2.60 | 1.35 |
| Cistina | 3.15 | 2.25 | 0.40 | 1.00 | 1.35 |
| Fenilalanina | 4.05 | 5.80 | 5.40 | 4.80 | 7.10 |
| Tirosina | 4.80 | 4.05 | 5.70 | 5.20 | 3.40 |
| Treonina | 6.70 | 5.15 | 4.0 | 4.70 | 4.10 |
| Triptófano | 3.20 | 1.50 | 1.30 | 1.50 | 1.25 |
| Valina | 6.85 | 7.15 | 6.80 | 6.80 | 0.00 |
| OTAL | 62.55 | 51.10 | 49.45 | 50.60 | 41.50 |

Fuente: "Leche y Productos Lácteos" F.M. Luquet, 2008

Se utilizan en la fabricación de productos de panadería y artículos cárnicos, donde sus propiedades para la formación de gel son sumamente útiles.

Su aprovechamiento, representa una gran importancia para el mercado nacional en la Tabla 2.5. se registra el volumen y costo de importación de concentrados proteínicos (albúminas) en los últimos 10 años.(13)

2.11.2 OBTENCIÓN DE LACTOSA

El cual es un buen excipiente (sustancia soporte o base) para los productos farmacéuticos y dietéticos; por ejemplo para los edulcorantes artificiales, como la sacarina y el ciclamato entre otros. Otra de las propiedades de la lactosa, es su aptitud como sustrato nutritivo para una gran variedad de microorganismos, se aprovecha para producir penicilina y otros antibióticos. (19)

2.12. PRINCIPALES PROCEDIMIENTOS DE RECUPERACIÓN DE PROTEÍNA

La separación de las proteínas del suero puede realizarse por los siguientes procedimientos de separación.

2.12.1. ULTRAFILTRACIÓN O SEPARACIÓN MEDIANTE MEMBRANAS:

Es uno de los procedimientos de separación mediante membranas semipermeables utilizadas por la industria. La ultrafiltración permite retener las moléculas con un peso molecular del orden de 5000 utilizando una presión relativamente baja, de 1 a 7 bares. Con este método se retienen y concentran los sólidos en suspensión, los coloides y los materiales disueltos de peso molecular alto. El agua y los solutos de peso molecular bajo pasan a través de la membrana.

En el caso del lactosuero, además de la fase acuosa, el retenido contiene la totalidad de la materia grasa, las proteínas de peso molecular elevado y una parte de las sales minerales.

El filtrado contiene agua, sales minerales, compuestos nitrogenados no proteicos y lactosa. Este procedimiento ofrece la fundamental ventaja de mantener en su estado nativo a las proteínas, no alterándose estas por efecto del calor. (21)

2.12.2. SEPARACIÓN POR PRECIPITACIÓN

Se estudiaron varios métodos de precipitación de proteína a partir del suero de queso: precipitación con cloruro cálcico, ácidos, álcalis y el calor. De los procedimientos citados, se manifestó como óptima la precipitación por el calor en combinación con la precipitación ácida.

Cuadro Nº 05. CUADRO ESTADÍSTICO DE IMPORTACIÓN
 DECONCENTRADO PROTEÍNICO A NIVEL NACIONAL (2000 -2012)

| Año | Peso Bruto | Peso Neto | Valor FOB | Valor CIF |
|------|------------|------------|-----------|-----------|
| | Kg | Kg | Dólares | Dólares |
| 2002 | 401.400 | 385.100 | 2,358.92 | 3,841.13 |
| 2003 | 5,746.400 | 5,291.940 | 30,262.65 | 36,278.48 |
| 2004 | 1,564.330 | 1,454.400 | 10,328.53 | 11,684.41 |
| 2005 | 3,819.370 | 3,562.130 | 25,862.87 | 28,809.59 |
| 2006 | — | — | — | |
| 2007 | 47.000 | 45.400 | 773.85 | 1,015.08 |
| 2008 | 6,716.800 | 6,526.500 | 37,425.00 | 41,107.02 |
| 2009 | 4,523.040 | 4,268.990 | 32,374.65 | 36,814.15 |
| 2010 | 3,824.920 | 3,672.320 | 23,984.54 | 43,848.00 |
| 2011 | 31,022.730 | 29,111.700 | 40,844.82 | 44,738.48 |
| 2012 | 24.000 | 22.700 | 435.84 | 527.82 |

*No se registra partida correspondiente al año 2006

Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas, 2012 (12)

En este caso se precipitan las proteínas del suero, solíéndose desnaturalizar, antes de realizarse la separación.

La precipitación de las proteínas puede provocarse de muy diferentes maneras, por ejemplo, con sales neutras, con hidróxido de hierro y de cobre, con colorantes (pardo tiazina) o con extractos de plantas que contengan ácido tánico (taninos).

En la práctica el procedimiento más utilizado es el que combina la acción del calor con la acción de la acidez. Consiste en calentar el suero a 90-95°C, lo que provoca la coagulación de las proteínas. No obstante, para poder alcanzar a estas temperaturas un máximo de precipitación es absolutamente imprescindible tener en cuenta el punto isoeléctrico de la caseína (pH= 4,65). Para ello hay que hacer que el suero adquiera, antes o durante el proceso de calentamiento, un valor de pH entre 4,4 y 4,8. (8)

2.13. TEORÍA DE LA PRECIPITACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

2.13.1. Precipitación de las Proteínas por Acción de la Temperatura:

Las albúminas y globulinas de la leche son muy diferentes a las caseínas. Son emulsiones verdaderas en el sentido de que presentan una fuerte afinidad por el agua. Para coagular estas proteínas no basta con neutralizar las cargas, es necesario disminuir su grado de hidratación, bien con el calor o con alcohol. Por esta razón las albúminas y globulinas no coagulan con la caseína por simple acidificación a pH 4,6.

Las albúminas y globulinas son proteínas termosensibles y se desnaturalizan por el calor a temperaturas superiores a los tratamientos de pasteurización.

El calor desnaturaliza las proteínas del suero y hace que precipiten la mayoría de las proteínas globulares se desnaturalizan fácilmente.

Cuando los enlaces que, mantienen la disposición espacial única de la molécula proteínica se alteran, tienen libertad para desdoblarse o extenderse. En ocasiones se desea dicho cambio en la preparación de algunos alimentos; en otros casos se hacen esfuerzos para evitar la desnaturalización de las proteínas en los alimentos.

Se entiende por desnaturalización cualquier cambio irreversible de algunas propiedades de las proteínas. Desde este punto de vista, todos los tratamientos térmicos pueden desnaturalizar las proteínas. La característica que se observa más fácilmente es la pérdida de solubilidad.

En este sentido, las más frágiles son las proteínas que no son caseínas. Los mecanismos de desnaturalización se sitúan a nivel de los enlaces secundarios y terciarios (enlaces calcio, fósforo, hidrógeno) que contribuyen a mantener las proteínas en una configuración globular o replegada. Esto es así especialmente para las proteínas del lactosuero. La destrucción de estos enlaces abre las cadenas polipéptidicas lo que produce una pérdida de

solubilidad. Cuando las cadenas se abren hasta el punto de que los grupos reactivos quedan expuestos hacia el exterior, se crea la posibilidad de formación de nuevos enlaces entre las moléculas vecinas que dan lugar a proteínas fibrosas. Con el método de la dispersión lumínica se pudo comprobar que el umbral térmico de desnaturalización de la proteína de suero está en 60°C y que a 75 - 80° C tiene la coagulación visible con formación de flóculos. La temperatura óptima de calentamiento del suero de queso para precipitar las proteínas es de 92,5° C.

La proteína más interesante desde un punto de vista tecnológico es la κ -lactoglobulina, que a temperaturas superiores a 74° C se desnaturalizan, forman grumos y liberan grupos sulfhidrilo (grupos SH), que son los responsables de sabor a cocida que a veces presenta la leche.

También las globulinas son sensibles al calor y coagulan a temperaturas superiores a 75° C. La única fracción que es relativamente resistente al calor es la α -albúmina.

2.13.2. **Precipitación de las Proteínas por Acción Ácida**

Las moléculas proteínicas poseen carga eléctrica en función del valor del pH de la solución en la que estén. La carga pueden ser tanto positiva como negativas (anfólitos), dependiendo de que presenten grupos libres amínicos o grupos libres carboxílicos. Mientras que las partículas proteicas se encuentran como cationes (zona ácida) o como aniones (zona básica) tienen capacidad de migrar en un campo eléctrico o en caso de encontrarse cargas del mismo signo de repelerse mutuamente, esta característica determina que las moléculas proteicas permanezcan disueltas.

Sin embargo, al alcanzar el punto isoelectrico se establece un equilibrio de cargas en el interior de las moléculas.

El punto isoelectrico es el valor de pH en el cual los cuerpos disociados que portan grupos ácidos y grupos básicos presentan una igualdad de cargas en sus moléculas, lo que equivale a que en este punto el número de iones con carga positiva es igual al de los iones con carga negativa.

Compuestos como los aminoácidos, que pueden poseer grupos ácidos y grupos básicos se denominan anfóteros y no tienen capacidad de migración en el campo eléctrico en este estado de igualdad de cargas las moléculas proteicas tienen a formar, con ácidos (o también con bases), sales internas, produciéndose la coagulación de las proteínas

Los enlaces que mantienen la disposición espacial única de la molécula proteica se altera, durante la desnaturalización de la proteína. Estos enlaces pueden alterarse en varias formas, como cuando las moléculas proteicas cuya conformación se encuentra estabilizada por fuentes de sal son sensibles a los cambios en la acidez.

El estudio de la coagulación de la proteína del suero del queso empleando reactivos indica que los métodos en que se utilizan ácidos y bases garantizan la precipitación de 50-55% de los compuestos nitrogenados del suero.

Cuando el valor del pH es demasiado alto adicionar ácido clorhídrico, ácido cítrico, ácido láctico, etc. y cuando el valor del pH es demasiado bajo adicionar álcalis como carbonato sódico calcinado, carbonato sódico cristalizado, hidróxido de calcio, carbonato cálcico, etc. Estos álcalis se van añadiendo en pequeñas cantidades a lo largo del proceso de calentamiento para evitar la formación de espumas. (26)

2.14. SECADO POR ATOMIZACIÓN DE LA PROTEÍNA DEL SUERO DE QUESO

El secado o desecación, es uno de los procesos más antiguos de conservación de alimentos. En los alimentos deshidratados, debido a la mínima cantidad de agua, los microorganismos no pueden proliferar y quedan detenidas la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas de alteración. Los modernos métodos de secado buscan otros fines que la simple preservación: en los alimentos, la reducción de peso y algunas veces de volumen constituyen una importante ventaja para el transporte y almacenamiento; la comodidad de empleo también es una característica muy buscada.

Para la deshidratación de diversos productos líquidos que son sensibles al calor y que no se pueden exponer a altas temperaturas durante períodos largos tales como leches concentradas, suero, concentrados proteicos, caseína, y otros alimentos como extractos concentrados de café, huevo, etc. es que esta muy generalizado el uso de secadores por atomización.

Este tipo de secadero se usa profusamente en la industria de los alimentos para desecar soluciones, lechadas y pastas que son sensibles al calor y requieren de un breve tiempo de contacto en la zona caliente del equipo y además en aquellas que contienen partículas ultrafinas que se aglomeran y funden cuando se desecan en condiciones que no sean de dilución.

El producto se introduce en una cámara de desecación en forma de fina lluvia entrando así en íntimo contacto con una corriente de aire caliente, lo que permite una desecación muy rápida obteniéndose un polvo seco.

Las principales características de este tipo de secador son los tiempos de desecación muy corto, del orden de 1-10 seg y las temperaturas relativamente bajas que alcanza el producto. Las gotitas de la aspersión

normalmente tienen diámetros del orden de 10 a 200 μm y por tanto ofrecen al aire de desecación un área superficial muy grande por unidad de volumen lo que permite una desecación muy rápida. La mayor parte de la desecación ocurre en condiciones que favorecen la desecación a velocidad constante y por lo tanto la temperatura de los sólidos apenas se eleva por encima de la temperatura del bulbo húmedo del aire de desecación hasta que la desecación casi se ha completado. Si las condiciones de operación son correctas y el equipo está bien diseñado, el tiempo de residencia de las partículas en la cámara de desecación puede controlarse de forma que sea mínimo el tiempo de contacto de partículas secas con el aire caliente para no sobrecalentar el producto.

2.14.1. Componentes del Secador Atomizador

Los componentes esenciales del secadero atomizador.

- A. El sistema de calentamiento y circulación del aire.
- B. El atomizador
- C. La cámara de desecación
- D. El sistema de recuperación del producto

A. Sistema de Calentamiento y Circulación del Aire.

No es común en los secadores atomizadores, el uso directo de gases combustibles sino que comúnmente se emplea calentadores de vapor bien solos o para suplementar el calentamiento indirecto con gas combustible. Los calentadores eléctricos raramente se usan salvo en equipo a escala de planta piloto.

Para mover el aire a través del sistema suelen emplearse ventiladores centrífugos o sopladores. En unos secadores atomizadores se instala solamente un ventilador en la salida del aire y en otros instalan ventiladores a la entrada como a la salida del aire. Muchas cámaras de desecación operan a presión ligeramente

negativa. En los conductos de entrada y salida normalmente se instalan reguladores para controlar la velocidad de flujo del aire. También se instalan filtros de limpieza en la entrada del aire.

B. Atomizadores

En la desecación por atomización es de mayor importancia que el producto líquido forme una aspersion de gotitas uniformes de las dimensiones deseadas y que la aspersion se distribuya por todo el aire caliente. El término que se emplea para describir la formación de la aspersion del líquido es el de atomización. En estos secaderos suelen emplearse uno de los tres tipos principales de atomizadores: atomizadores de presión, atomizadores centrífugos y atomizadores de dos fluidos.

- Atomizador de presión

El producto líquido es bombeado a presión relativamente alta, normalmente del orden de 3,6-48,4 MN/m², a través de un orificio pequeño. La energía del líquido a alta presión se utiliza para producir la aspersion de pequeñas gotitas. Un núcleo acanalado insertado antes del orificio imparte un movimiento de giro al líquido produciendo una aspersion en forma de cono. Los secaderos atomizadores empleados en la industria de los alimentos normalmente producen una aspersion en forma de cono hueco. Si los atomizadores de presión son alimentados a la presión uniforme recomendada para el diseño particular de que se trate se pueden obtener aspersiones finas y uniformes. Entre los inconvenientes de este atomizador figura la posibilidad de que se obture el orificio con partículas sólidas y de que se ensanche sobre todo si el líquido de alimentación contiene sólidos abrasivos.

- Atomizador Centrífugo

Normalmente consiste en un disco que gira en el extremo de un eje. El líquido de alimentación se introduce cerca del eje de rotación del atomizador siendo acelerado hasta la velocidad lineal de la periferia

de la cabeza desde donde es lanzado en forma de aspersión al interior de la cámara de desecación. La cabeza rotatoria puede adoptar diversas formas: Disco invertido, rueda sin reborde de radios huecos, disco con orificios en la periferia e impulsor tipo turbina.

Los tamaños y velocidades de las cabezas atomizadoras varían desde el disco de 5,08 cm que gira a 50,000 rpm a la rueda radiada de 76,2 cm que gira a 3,450 rpm.

Cuando se operan correctamente, los atomizadores centrífugos pueden producir aspersiones de gotitas finas y uniformes. No sufren obturaciones o abrasiones a consecuencia de la presencia de sólidos en el líquido de alimentación y pueden manipular productos viscosos a presiones de bombeo relativamente bajas. Existen también diseños resistentes al desgaste y otros adecuados para la producción de partículas relativamente grandes (0,5 -1.0 mm de diámetro). Los últimos se utilizan para congelar aspersiones de productos fundidos.

$$X/r = 0.4 (T/p_1 N r^2)^{0.6} (u/T)^{0.2} (r_1 L_w / T^2)^{0.1} \quad (1)$$

Marshall (1954) sugirió la siguiente ecuación para determinar el tamaño de gota promedio en un disco atomizador:

Donde:

T = velocidad de masa, lb/(min x ft de circunferencia mojada)

L₂ = circunferencia mojada, ft

N = Número de revoluciones por minuto

ρ = densidad del líquido

μ = viscosidad de la masa

r = radio del disco

x = tamaño promedio de la gota

Varios tipos de discos rotatorios pueden ser usados para atomizar líquidos. El más simple es un disco plano y liso, pero puede suceder

una adherencia entre el líquido y el disco, por lo que se idearon discos con canales radiales, el más sencillo es el de la Figura 2.1. El NiroAtomizer de Dinamarca utiliza una rueda atomizadora con canales encorvados para la elaboración de productos de leche en polvo con una alta densidad volumétrica (bulk density) y un mínimo de aire ocluido. De las conclusiones del estudio realizado por Adlker y Marshall los discos de diferente diseño utilizados no produjeron variación en las características del tamaño de gota.

La fluctuación del tamaño de gotas es generalmente más limitado que el que se obtiene con boquillas de dos fluidos y la capacidad de alimentación llega hasta 15,000 lb/hr en un solo disco.

La velocidad periférica con que se expulsa la carga desde el disco varía entre 250 a 600 ft/sg.

Los atomizadores centrífugos rara vez se atoran. La erosión es menos seria que con boquillas de presión y cuando ocurre las características de la atomización no cambian en la misma forma.

El atomizado no está sujeto a fluctuaciones de presión de la bomba, porque el flujo al atomizador es por gravedad o por una bomba no pulsante.

El disco es impulsado por un motor que se encuentra en la parte superior de la cámara de secado y movido a través de un engranaje o faja en V.

Un disco giratorio imparte dos componentes de velocidad al líquido: una periférica V_o y la otra radial V_r . Luego el vector de velocidad neta de) líquido V puede escribirse:

$$V = \sqrt{V_o^2 - V_r^2} \quad (2)$$

Mientras el ángulo de esta velocidad resultante (Fig. 2.1) es:

$$\theta = \frac{\tan^{-1} V_r}{V_o} \leq 45^\circ \quad (3)$$

Este ángulo se aproxima a 45° como límite cuando la viscosidad o resistencia a fricción es pequeña o cuando la velocidad de flujo es grande.

- **Atomizador de dos fluidos**

Atomiza el líquido de atomización con la energía de un chorro de gas de alta velocidad. Necesita que el líquido de alimentación posea presiones menores que las requeridas por los atomizadores de presión. Al igual que el último puede sufrir obstrucciones y ensanchamiento del orificio. Generalmente son de capacidad comparativamente baja y con frecuencia producen gotitas de tamaño muy variable.

Debido principalmente a los últimos inconvenientes, raramente se emplean en la desecación de alimentos por atomización. (14)

C. CAMARA DE DESECACION

La cámara de desecación es la parte del secadero atomizador en la que se ponen en contacto el aire caliente y las gotitas del líquido y en la que tiene lugar la desecación. Seitzer y Settelmeyer clasificaron los múltiples tipos de cámaras existentes los únicos métodos adecuados para seleccionar un secadero para un uso particular son la experimentación en planta piloto o los ensayos en planta a escala industrial. En la desecación de alimentos rara vez se utilizan secaderos atomizadores a contracorriente debido al riesgo de que el, calor dañe a los productos sensibles.

Recientes avances en el diseño de cámaras comprenden la cámara-w en la cual la punta del cono está construida dentro de la cámara y el fluidizador - spray, que incorpora tanto un desecador de spray, con cabeza atomizadora, como un desecador de lecho fluidizado.

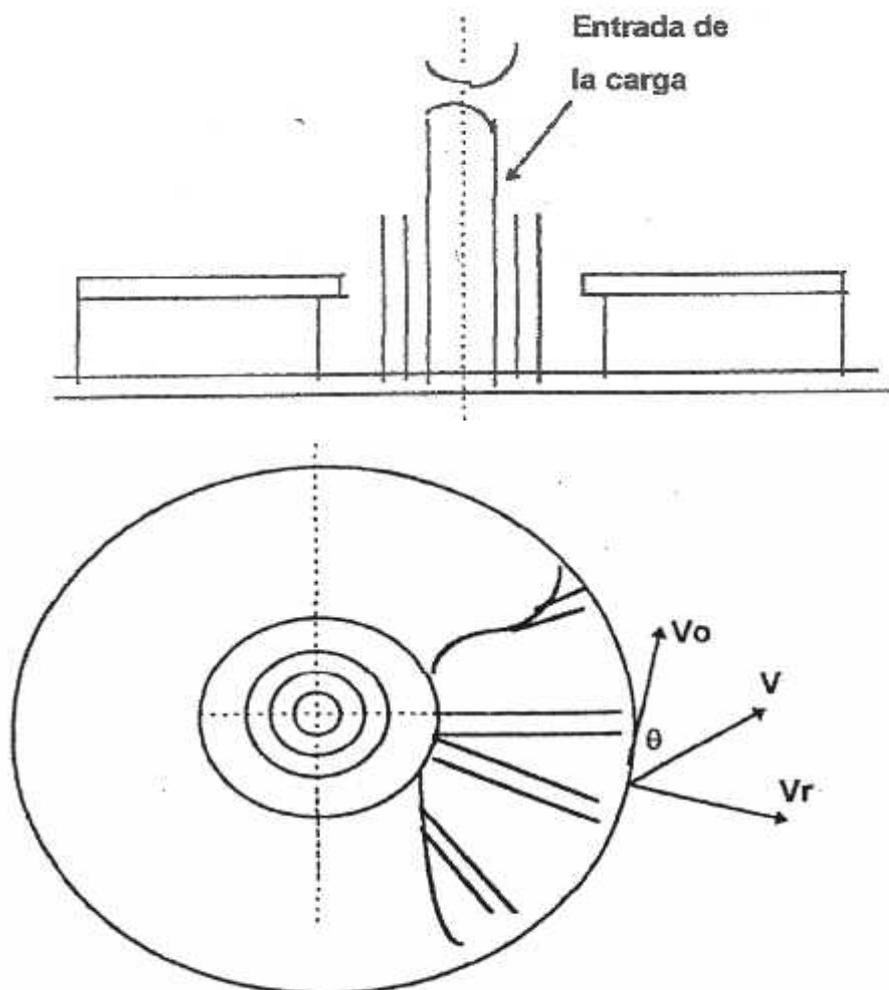
D. SISTEMA DE RECUPERACION DEL PRODUCTO

En la mayor parte de los secaderos atomizadores el producto seco cae al fondo de la cámara de donde es sacado mediante rastrillos, tornillos sinfín y válvulas rotatorias. Cuando el producto de secado es

termoplástico y/o higroscópico los diseños de las cámaras son especiales hallándose dotadas de paredes enfriadas, escobas neumáticas y de otros dispositivos necesarios para facilitar la descarga del producto.

En otros secadores todo el producto desecado sale de la cámara de desecación arrastrado por la corriente de aire. En todos los secaderos es preciso purificar el aire saliente y recuperar el producto que arrastra. Con tal fin se emplean comúnmente tres métodos que son los separadores de ciclón seco, los separadores húmedos y los filtros de tela.

FIGURA 2.1. DISCO ATOMIZADOR ROTATORIO



2.14.2. Factores que Afectan los Materiales Desechados por Atomización.

Las propiedades físicas de los materiales desechados por rociada están sujetos a considerables variaciones, según la dirección del flujo, del gas de entrada y su temperatura, el grado de uniformidad de atomización, el contenido de sólidos de la alimentación, la temperatura de ésta y el grado de aireación de la misma. Las propiedades del producto que despiertan el mayor interés en general son:

- Tamaño de la partícula
- Densidad volumétrica

El tamaño de la partícula es una función de las condiciones de funcionamiento del atomizador y, al mismo tiempo, del contenido de sólidos, la viscosidad del líquido la densidad del mismo y la velocidad de alimentación. En general el tamaño de partículas aumenta con el contenido de sólidos, la viscosidad, la densidad y la velocidad de alimentación.

La densidad volumétrica de los sólidos desechados por rociada es, a menudo, la propiedad crítica que debe someterse a un control riguroso. La densidad en masa del material que sale del secador de rocío se incrementa casi siempre, aplicando los cambios de operación que se indican enseguida: reducción del tamaño de la gotita, reducción de la temperatura del aire de entrada, incremento del caudal existente de aire, incremento de la turbulencia de aire, uso del flujo de gas a contra corriente en lugar de corriente paralela y asegurar una gama amplia de distribución de tamaño del atomizador. Chaloud y colaboradores evaluaron cualitativamente los efectos de las variables de operación en la densidad en masa de las partículas, basándose en secadores de rocío para detergentes.

2.14.3. Mecanismo de Secado por Atomización

Seltzer y Settlemeyer (1949) notaron que en la mayoría de los secadores hay una zona primaria y secundaria de secado.

En la zona primaria la mayoría de la humedad es extraída con una consecuente caída en la temperatura y en la zona secundaria el aire experimenta pequeña caída de temperatura.

En los secadores atomizadores comerciales la zona primaria de secado está aproximadamente dentro los 2 ft de radio que rodean a la boquilla y 3 ft de radio para un disco rotatorio. Si el material no está suficientemente seco en su trayectoria a través del secador puede acumularse sobre las paredes de éste.

Como en el secado normal, el secado por atomización tiene lugar en dos períodos:

- Período de Velocidad Constante
- Período de Velocidad Decreciente

Como las partículas son finamente divididas en la cámara de secado, el tiempo implicado en cada una de estas etapas es muy pequeño.

A. Período de Velocidad Constante

En el período de Velocidad Constante, la evaporación tiene lugar en la superficie de la partícula, la velocidad de evaporación es controlada por la velocidad de difusión del vapor a través de la película de aire que lo rodea.

La fuerza impulsora principal es la diferencia entre la temperatura del aire que la rodea y la temperatura de la partícula que puede considerarse como la temperatura del bulbo húmedo del aire de entrada.

En esta fase, la velocidad de difusión del agua a través de la partícula es capaz de ser más grande o igual que la velocidad de

evaporación. Mientras más alta es la temperatura del aire de secado y más alta la concentración de la carga, más corto será el período de Velocidad Constante.

Cuando la velocidad de difusión del agua a través de la partícula ya no es capaz de mantener la superficie de la partícula saturada, entonces la velocidad de difusión llega a ser el factor de control y se entra en el período de Velocidad Decreciente.

Todo líquido ejerce una definida presión de vapor a una temperatura dada. La presión de vapor de la superficie húmeda en un sólido es muy aproximada a la de un líquido puro a la misma temperatura. Si la presión parcial del vapor en el aire de los alrededores es menor que la presión de vapor del líquido, ocurrirá la vaporización. Esta diferencia en la presión de vapor de agua proporciona la fuerza impulsora para la extracción del agua de la superficie de un material. Mientras que la superficie del material esté enteramente húmeda la velocidad de secado es proporcional a la diferencia de presiones de vapor.

Este mecanismo de secado ocurre mientras el flujo de agua por difusión o de otro modo desde el interior del material es suficiente para conservar la superficie del material completamente humedecida (aun cuando el contenido de humedad promedio del material está siendo constantemente reducido por evaporación desde la superficie). Si la temperatura, humedad y velocidad de una corriente de aire caliente que está pasando sobre una superficie húmeda son mantenidas constantes el material alcanza una temperatura de equilibrio constante. En esta temperatura el calor sensible transferido desde el aire al material es exactamente igual al calor latente entregado para evaporación del agua. La velocidad de evaporación permanece así constante desde que todas las condiciones de secado son constantes. Estas

condiciones caracterizan el así llamado Período de Secado a Velocidad Constante.

En la predicción de la velocidad es importante saber estimar la temperatura de la superficie de secado. En este período mientras más alta es la temperatura de la superficie del material, más grande es la presión de vapor de agua en la superficie y más grande es la velocidad de secado.

Todo el calor recibido en la superficie del material puede ser transferido solamente por convección desde el aire, luego la temperatura de la superficie se aproximara a la temperatura del bulbo húmedo del aire de secado. Si se recibe calor adicional por radiación y/o conducción la temperatura alcanzada por la superficie en una operación normal de secado es más grande que la temperatura del bulbo húmedo pero menos que la temperatura del bulbo seco del aire. Los balances de transferencia de calor y masa constituyen la base para los cálculos de secado. Es la delgada y estancada película de aire que separa una superficie fija de la corriente de aire adyacente, la que limita la vaporización de la humedad en la corriente de aire o transferencia de calor de la corriente de aire a la superficie de secado. (18)

Estas operaciones de transferencia pueden ser expresadas en forma de ecuación:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Fuerza Impulsora}}{\text{(4) Resistencia}}$$

En el caso de transferencia de calor la fuerza impulsora es la caída de temperatura a través de la película de aire, mientras que para la transferencia de masa es la gradiente de presión de vapor. Mientras más alta es la desigualdad de temperatura o presión de vapor, más grande es la velocidad de secado. Esta velocidad de secado es, por supuesto, también directamente proporcional a la superficie de secado expuesta. Así cuando tratamos con sistemas

de secado de circulación a través (de parte a parte), es obvio que la velocidad de secado de un peso de sólido varía inversamente al tamaño de partícula.

En lo referente al período de secado a Velocidad Constante, las exposiciones anteriores pueden ser formulaciones como expresiones cuantitativas:

Para transferencia de masa

$$\frac{-dW}{A_c d\theta_c} = \frac{w}{A_c} = \frac{\Delta P}{1/K_g} = \frac{P_s - P_a}{1/K_g} \quad (5)$$

$$W = K_g A_c (P_s - P_a) \quad (6)$$

Por conveniencia en los cálculos de secado, la fuerza impulsora en (4) está expresada usualmente como la diferencia de humedad ($H_s - H_a$).

En condiciones de temperatura ordinaria, la presión parcial del vapor de agua es pequeña en comparación con la presión total y así llega a ser posible transformar la ecuación (6) en la deseada forma aproximada:

Por definición

$$\Delta H = \frac{18P}{29(1 - P)} \quad (7)$$

Aproximadamente:

$$\Delta H = \frac{18P}{29} \quad (8)$$

Por lo tanto: (8) en (6)

$$W = \frac{29K_g(H_s - H_a)}{18} \quad (9)$$

$$W = \frac{29K_g(H_s - H_a)}{18} \quad (10)$$

$$W = K_g A_c (H_s - H_a) \quad (11)$$

Para la transferencia de calor

Convección

$$\frac{q}{A} = \frac{\Delta t}{1/h_c} = \frac{t_a - t_s}{\frac{1}{hc}} \quad (12)$$

$$Q = h_c A (t_a - t_s) \quad (13)$$

Conducción

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{X}{K}} = \frac{(t_h - t_s)}{\frac{X}{h}} \quad (14)$$

$$q = \left(\frac{k}{X}\right) (t_h - t_s) \quad (15)$$

Radiación

$$\frac{q}{A} = \frac{(t_r - t_s)}{1/ehr} \quad (16)$$

$$\frac{q}{A} = ehrA(t_r - t_s) \quad (17)$$

Donde:

$$H_r = \frac{0.173 \left[\left(\frac{t_r}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_s}{100} \right)^4 \right]}{t_r - t_s}$$

El calor latente de vapor difundido es λsW , el cual puede ser aproximadamente igualado al calor sensible transferido a la superficie como se muestra abajo:

$$\lambda sW = \lambda s K_g A_c (H_s - H_a) \quad (19)$$

$$\lambda sW = h_c A_c (t_a - t_s) + e h_r A_c (t_r - t_s) + \left(\frac{k}{x} \right) A_c (t_h - t_s)$$

$$\lambda / R \quad \lambda / C_s (H_s - H_a) = (t_a - t_s) + e (h_r / h_c) (t_r - t_s) + (k/x h_c) (t_h - t_s) \quad (20)$$

Donde:

$$R = h_c \left(k_g c_s \right) \quad (21)$$

Para mezclar aire - vapor de agua ha sido empíricamente que la razón psicométrica R es substancialmente igual a la unidad, en este caso:

$$h_c / h_g = c_s$$

Donde:

$$C_s = 0.238 + 0.45 H_s$$

Un valor promedio para la razón h_c / k_g es casi 0.26

Para este sistema en ausencia de efectos de radiación y conducción la ecuación (20) puede entonces escribirse:

$$\lambda s (H_s - H_a) C_s (t_a - t_s) = (h_c / k_g) (t_a - t_s) \quad (22)$$

Y Ac puede expresarse como:

$$\frac{\lambda_s (W_1 - W_2)}{\theta_c h_c (t_1 - t_s)} \quad (23)$$

Desde que en el equilibrio:

$$\lambda_s k_g (H_s - H_a) = h_c (t_a - t_s) \quad (24)$$

La ecuación (22) demuestra la razón por que la línea de enfriamiento adiabático y la línea de temperatura constante del bulbo húmedo coinciden sobre la carta de humedad para la mezcla aire vapor de agua para todo fin práctico.

Una vez que un valor apropiado para h_c es establecido las ecuaciones (20) ó (22) pueden emplearse para aproximar H_s y la temperatura de la superficie t_s , por una serie de cálculos por tanteo o métodos gráficos en conjunción con el uso de la carta de humedad.

B. Período de Velocidad Decreciente

En este periodo, la evaporación tiene lugar en algunos planos bajo la superficie. Cuando la velocidad de difusión del vapor es menor que la velocidad de evaporación, entonces se forma vapor dentro la partícula y cuando la superficie de la partícula esta en la etapa plástica puede causar expansión y reventar formando el típico agujero de las partículas secadas por este método.

Es el período de Velocidad Decreciente cuando temperatura de la partícula comienza a aumentar por encima de la temperatura del bulbo húmedo y aproximarse a la temperatura del aire que lo rodea.

Durante el curso de cualquier ciclo de secado se alcanzara un punto en el que la superficie de secado ya no está completamente húmeda, y la superficie de evaporación efectiva comienza a decrecer.

Entonces la velocidad del movimiento de la humedad por difusión en el sólido (en vez de la diferencia de presiones de vapor) llega a ser el factor controlador en la determinación de la velocidad en la cual la humedad puede potencialmente ser vaporizada en una corriente de aire.

El porcentaje promedio de humedad en el material en este punto del ciclo de secado es llamado el contenido de humedad crítica.

El secado entonces sigue adelante a una velocidad continuamente decreciente. Durante esta etapa de secado llamado el Período de Velocidad Decreciente, la película de aire da cuenta solamente de una pequeña parte de la resistencia a la transferencia de calor y masa. La velocidad y humedad del aire de secado ya no ejerce mucho efecto sobre la velocidad de secado. Otros factores, tales como: gradientes de temperatura y humedad en el material, asumen un papel de importancia relativa más grande.

Como el contenido de humedad del material disminuye durante este período de secado; su temperatura se incrementa y finalmente se aproxima a la temperatura del aire de secado.

Por otra parte, el más bajo contenido de humedad a la cual un sólido puede ser secado con aire a una temperatura, humedad y presión dada es designado como el contenido de humedad de equilibrio.

De las discusiones hechas, es evidente que la velocidad de secado durante el período de Velocidad Decreciente puede ser compleja en función de muchos factores los cuales pueden o no ser interrelacionados. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones de secado se ha encontrado que el efecto combinado de varios factores es una función lineal del contenido de agua del material.

Por lo tanto, la velocidad de extracción de humedad durante este período de secado puede usualmente ser expresado con razonable exactitud como:

$$\frac{dW}{A_f d\theta_f} = -K(M - M_s) = -KF \quad (25)$$

La porción de la curva que representa el período de Velocidad Decreciente (Figura 2.2.) puede en realidad en realidad tener una curvatura cóncava hacia arriba o hacia abajo pero en general se aproximara a una línea recta. Bajo condiciones de secado constantes, la ecuación (25) puede entonces ser integrada según:

$$\frac{dW}{A_f d\theta_f} = -KF \quad (26)$$

$$K = \frac{R_c}{F_c} \quad (27)$$

$$dW = W_d dF \quad (28)$$

$$-\frac{dF}{F} = \frac{R_c A_f d\theta}{F_c W_d} \quad (29)$$

$$A_f = \frac{F_c W d}{\theta_f R_c} \int_{F_1}^{F_2} \frac{dF}{f} = \frac{F_c W d}{\theta_f R_c} \ln \frac{F_1}{F_2} \quad (30)$$

Donde:

$$R_c = K_g(H_s - H_a) = \frac{hc(t_a - t_s)}{\lambda_s} \quad (31)$$

Luego:

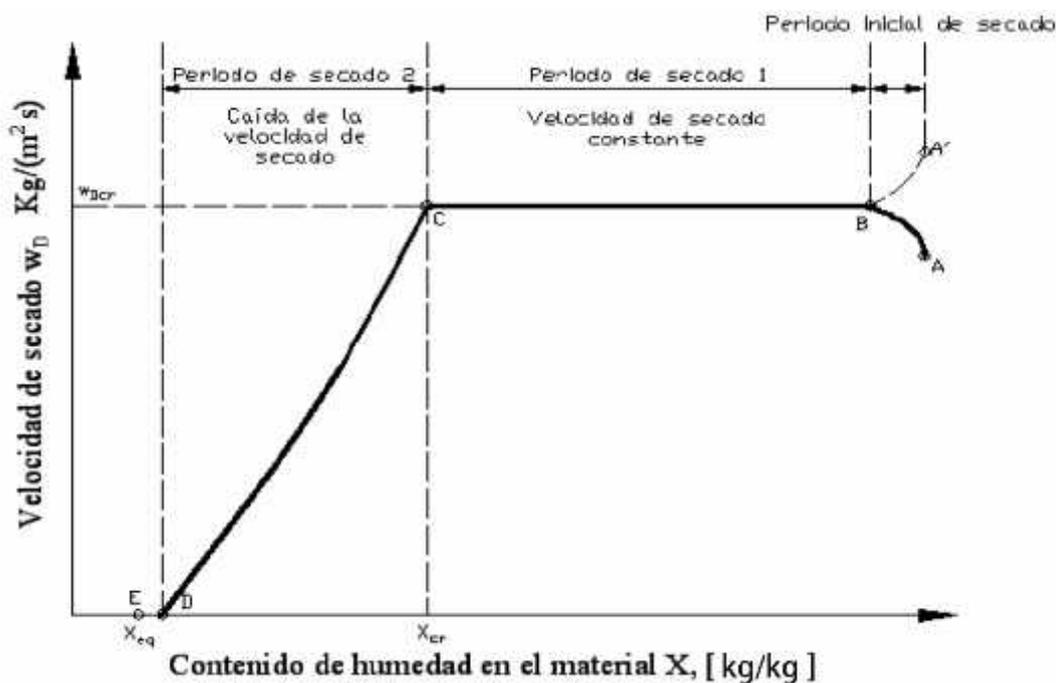
$$A_f = \frac{\lambda_s F_c W d}{\theta_f hc(t_a - t_s)} \ln \frac{F_1}{F_2} \quad (32)$$

Es suma, bajo condiciones de secado constante una operación de secado consta de 2 períodos:

- 1.- Período de Velocidad Constante.
- 2.- Período de fallingrate

Los cuales pueden ser expresados gráficamente, como se muestra en la 2.

FIGURA 2.2. MECANISMO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN



Esta figura es generalizaba, de tal modo que consideramos la línea de Velocidad Decreciente en forma recta.

La nomenclatura de esta Figura es:

Re: Velocidad de secado en el período de Velocidad Constante

Me: Contenido de humedad total en el punto crítico. Me:

Contenido de humedad de equilibrio.

2.14.4. Secador de Pulverización Niro- Atomizer.

El secador de atomizador Niro trabaja con un disco pulverizador movido por aire comprimido. El aire penetra en un tubo aislado de doble pared en cuyo extremo se ha colocado un distribuidor de aire múltiple, observar.

Este asegura la circulación del aire en el mismo sentido que el de las gúttulas; se trata pues, de un procedimiento de corriente a favor, ver Figura 2.3. Deben evitarse los torbellinos involuntarios pues, en ciertas condiciones, pueden originar una deposición del producto no seco. Gracias a un distribuidor de aire regulable el suministro puede variar dentro de amplios límites (desde 0,02-15 t/h). El producto seco se deposita en la proporción del 80 - 90% en el cono inferior de la cámara de secado: solo pequeñas cantidades de materia deben separarse en los ciclones intercalados en el resto del circuito. El producto seco se retira neumáticamente y se separa del aire necesario para su arrastre en un ciclón de ensacado particular.

2.14.5. Procesos Unitarios Fundamentales en el Secador Atomizador

Un secador atomizador opera sobre la base de la creación de un estado líquido altamente dispersado en la zona gaseosa de alta

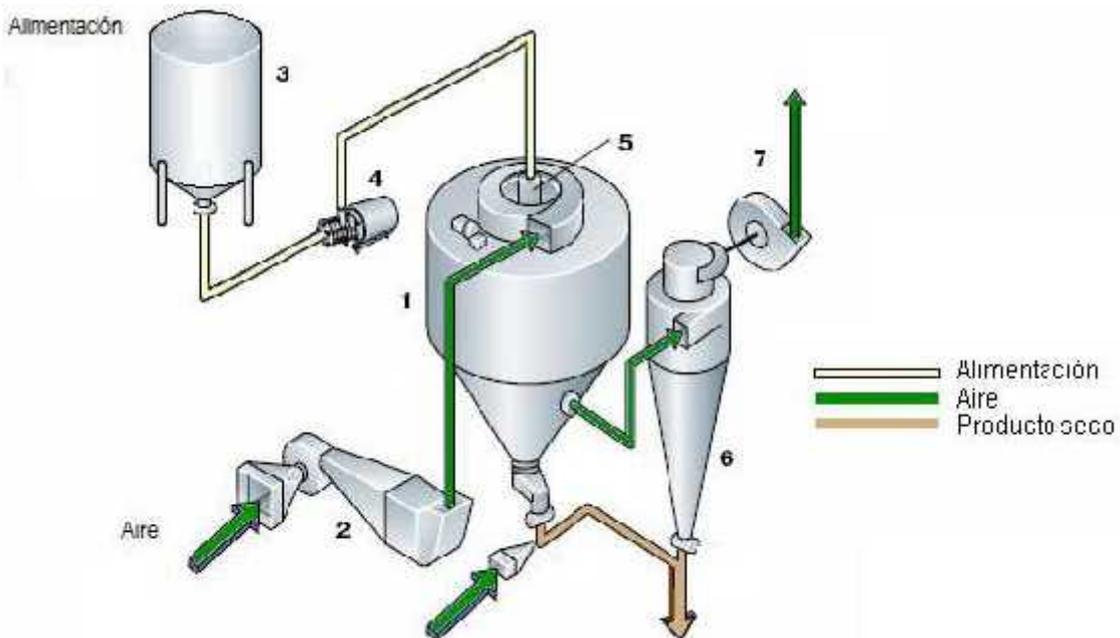
temperatura. Por lo tanto cuatro operaciones igualmente importantes ocurren:

- Atomización del Líquido
 - Contacto del Atomizado con el Aire de Secado
 - Movimiento de una Partícula en el Aire
- La desecación de las gotitas del líquido

A. Atomización del Líquido

El efecto principal es producir una alta razón de superficie a masa, lo que da por resultado una alta velocidad de evaporación. El efecto secundario es producir un material finamente dividido con características físicas de densidad y forma de partícula especiales.

Figura 2.3. SECADOR ATOMIZADOR



PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACION

- 1.- Cámara de secado.
- 2.- Sistema de calentamiento
- 3.- Tanque de alimentación

- 4.- Bomba de alimentación
- 5.- Atomizador
- 6.- Separador ciclónico
- 7.- Ventilador de descarga de aire y filtro

En esta etapa el tiempo requerido para efectuar una mezcla íntima del atomizado y el gas puede ser apreciablemente más largo que el secado mismo.

Los diferentes tipos de secadores diseñados hoy en día reflejan en gran parte los varios ensayos que se han hecho para resolver el problema de la mezcla.

Un factor que influye grandemente en este problema de mezcla es el tipo de trayectoria de la gota al salir de los varios mecanismos atomizadores. Por ejemplo la efectiva mezcla de un atomizado que sale por todos los puntos alrededor de un disco rotatorio puede ser más dificultosa que mezclar el atomizado que sale de una boquilla de presión.

Los coeficientes de transferencia de calor también serán afectados en algo por la dirección de las gotas.

El aire puede fluir en línea recta o puede tener un movimiento rotatorio, las partículas o gotas pueden moverse perpendicularmente, concurrente o en contracorriente a el flujo de aire.

B. Movimiento de una Partícula en el Aire

Considerando que la partícula obtenida es esférica (en realidad en la mayoría de los casos es aproximadamente esférica), veremos el movimiento del aire relativo a una partícula considerada inmóvil. El problema será esencialmente el mismo ya sea que el aire o la partícula se esté moviendo (Coulson y Richardson, 1955). Stoke (1851) obtuvo la siguiente fórmula:

$$F = 3\pi\mu D_p v \quad (33)$$

Donde:

F = fuerza de arrastre

μ = viscosidad del fluido

D_p = diámetro de la esfera

v = velocidad del fluido con relación a la partícula.

La fuerza de arrastre ejercida sobre una partícula esférica por un fluido está convenientemente expresado en un amplio rango de velocidades por ploteo de un grupo sin dimensiones $[R'/\rho v^2]$ contra Re.

Donde:

Re = N° de Reynolds modificado, en el cual la dimensión lineal es el diámetro de la partícula y la velocidad es la velocidad relativa entre el fluido y la partícula, luego:

ρ = densidad del fluido

R' = fuerza ejercida por unidad de área proyectada por la partícula, esta área es igual a la de un círculo del mismo diámetro de la partícula

a fuerza de arrastre también se puede escribirse:

$$F = R'_p \pi D_p^2 \quad (34)$$

Fuerza total sobre la partícula

Cuando $10^{-4} < Re < 0.2$, el valor de $F = 3\pi\mu D_p v$ (35)

Esta es la expresión obtenida por Stoke.

Cuando $0.2 < Re < 1000$,

El valor de $F = 3\pi\mu D_p v (1 + 0.15 Re^{0.687})$ (36)

Cuando $1000 < Re < 2 \times 10^5$,

$$\text{el valor de } F = 0.055 \pi D_p^2 \rho v \quad (37)$$

$$\text{Cuando } Re > 2 \times 10^5, \text{ el valor de } F = 0.0125 \pi D_p^2 \rho v \quad (38)$$

C. Velocidad Límite o Final de Caída

Si dejamos que una partícula esférica se asiente en aire quieto, bajo la acción de la gravedad, esta incrementará su velocidad hasta que la fuerza acelerativa es exactamente igualada por la fuerza de resistencia del fluido, después de lo cual seguirá cayendo con una velocidad constante igual a la velocidad obtenida al momento de igualación. Esta velocidad es la llamada velocidad límite o final de caída, luego:

$$\frac{1}{6} D_p^3 \pi g (\rho_s - \rho) = F = R' \frac{\pi}{4} D_p^2 \quad (39)$$

Donde:

ρ_s = densidad del sólido Por ejemplo para el caso en que la velocidad límite de caída es tal que $Re < 0.2$, la fuerza de resistencia esta dada por la ecuación (39) Juego:

$$\frac{1}{6} D_p^3 \pi g (\rho_s - \rho) = 3\pi \mu D_p v \quad (40)$$

De donde podremos despejar v (velocidad límite)

Pero generalmente Re será desconocido por ser una función de la desconocida velocidad final, por lo que debemos utilizar otro método. Como tenemos que de (39):

$$R' = \frac{2}{3} D_p g (\rho_s - \rho) \quad (41)$$

Luego:

$$\frac{R}{\rho v^2} = \frac{2}{3} D_p g (\rho_s - \rho) \quad (42)$$

La combinación es $\frac{D^3 \rho (\rho_s - \rho) g}{\mu^2 v}$ un grupo sin dimensiones que no incluye a v

Desde que:

$$\frac{2Dpg}{3\rho v^2} (p_s - p) \left(\frac{v^2 D p^2 \rho^2}{\mu^2} \right) = \frac{2Dp^3 \rho}{3} (\rho_s - \rho) / \mu^2 g \quad (43)$$

Si conocemos las propiedades del aire y la partícula, podemos evaluar este grupo sin dimensiones, y planteando este valor en el gráfico 14.6 del texto de Coulson y Richardson, Tomo 2, hallaremos el valor de Re y por lo tanto v (velocidad límite o final de caída). Pero este es el caso cuando el aire está quieta y la partícula en movimiento. En el secado por atomización el aire también se mueve, ya sea concurrente o en contracorriente a la partícula.

Como es obvio en el flujo en contracorriente debemos cuidar que la velocidad del aire sea baja para disminuir las pérdidas de productos en el aire. La velocidad del aire ascendente del aire en la cámara tendrá que ser menor que la velocidad límite de la partícula para permitir su asentamiento.

La fluctuación del Re de más importancia en las aplicaciones de secado por atomización es de 10^{-1} a 10^{-2} . La región de la ley de Stoke está generalmente aceptado encontrarse en el rango $Re < 2.0$.

Las partículas de 50μ y menores sometidas a velocidades relativas de 300 a 500 ft/sg no excederán un Re de 200 (debido a la alta ρ del aire).

Sin embargo el tiempo durante el cual tal velocidad relativa existe es corto ya que las partículas serán rápidamente retardadas por la

velocidad del aire. Por lo tanto se esperaría que una partícula atomizada en un secador atomizador esté mayormente en la región de la ley de Stoke.

D. Secado de las Gotas

La otra fase importante del secado por atomización es la velocidad de secado de las gotas.

Sherwood y Williams (1941), presentaron un trabajo donde correlacionaron mucho de los datos publicados sobre transferencia de masa desde gotas líquidas y sobre transferencia de calor a partículas sólidas esféricas.

Las ecuaciones recomendadas para la transferencia de masa a tres fluctuaciones diferentes del N° de Reynolds modificado son:

I. Para $Re \leq 4.0$
$$NU' = \frac{K_a RT D_p}{D} \quad (44)$$

II. Para $4 < Re < 400$
$$NU' = 1.5(SC)^{1/3} (Re)^{0.56} \quad (45)$$

III. Para $Re > 400$
$$NU' = 0.43 NU'^{1/3} (Re)^{0.56} \quad (46)$$

Froessling (1938) presentó la siguiente ecuación para todos los valores de Re:

$$NU' = (K_a RT D_p) / D = 2[1 + 0.276(SC)^{1/3}(Re)^{0.5}] \quad (47)$$

La ecuación correspondiente para la transferencia de calor es:

$$NU' = \frac{h D_p}{K_f} = 2[1 + 0.276(PR)^{1/3}(Re)^{0.5}] \quad (48)$$

Es evidente que las ecuaciones (44) y (47) son equivalentes a valores bajos de Re.

Tiempo de evaporación de las gotas Seltzer y Marshall (1950) y Ranz y Marshall (1952) trataron el problema del tiempo de evaporación de gotas de líquido puro en aire quieto, cayendo a la velocidad final en la región de la Ley de Stoke.

Sjenitzer (1952), consideró el efecto sobre la evaporación de la deceleración de las gotas desde una velocidad inicial alta hasta la velocidad final. Se mostró en todos los casos que las correcciones para el tiempo de evaporación en aire quieto y para movimientos laminares a través del aire fue despreciable para gotas por debajo de 100 μ m aproximadamente.

Desde que la velocidad de evaporación de una gota de líquido puro es proporcional a la velocidad de transferencia de calor a su superficie, un balance de calor da:

$$\rho^{-1} \frac{d}{d\theta} \left(\frac{\pi D p^2}{6} \right) = \frac{h \pi D p^2 \Delta t}{\lambda} \quad (49)$$

Simplificando:

$$\frac{2 \Delta t d\theta}{\rho_1 \lambda} = \frac{dDp}{h} \quad (50)$$

Si $\frac{2 \Delta t}{\rho_1 \lambda}$ es activamente constante (una condición que se encontrara a menudo bajo verdaderas operaciones de secado) integrando nos dará el tiempo de evaporación:

$$\theta = \frac{\rho_1 \lambda}{2 \Delta t} \int_{D_{p_2}}^{D_{p_1}} \frac{dDp}{h} \quad (51)$$

La integración indicada de, la ecuación (51) requiere datos sobre el coeficiente de película h a varios valores de Dp.

La ecuación (51) puede generalizarse más sustituyendo h por su valor dado en la ecuación (44), luego:

$$\theta = \frac{\rho_1 \lambda}{4K_f \Delta t} \int_{D_{p2}}^{D_{p1}} \frac{D_p D_p}{\left[1 + 0.276 \left(\frac{C_{pu}}{K_f} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{D_p v_p}{\mu} \right)^{\frac{1}{2}} \right]} \quad (52)$$

Donde:

$$PR = \frac{C_{pu}}{K_f} \quad ; \quad Re = \frac{D_p v_p}{\mu}$$

La ecuación (28) es útil solamente si se conoce una relación entre D_p y la velocidad v , en el Re .

Caso de la velocidad relativa cero ($v = 0$)

En el caso de secado por atomización no es extraño que el valor de Re sea bajo. Por ejemplo para una velocidad relativamente baja existente entre la partícula y el gas o cuando están implicadas pequeñas gotas. Aun a altas velocidades con partículas pequeñas se obtienen valores de Re bajos.

La ecuación (25) se simplifica para $v = 0$, a la siguiente expresión para h:

$$h = \frac{2K_f}{D_p}$$

Cuando esta expresión para h es sustituida en la ecuación (51), o cuando $y = 0$ ($Re = 0$) en la ecuación (52), el tiempo para la evaporación completa esta dada por:

$$\theta = \frac{\rho_1 \lambda (D_{p1}^2 - D_{p2}^2)}{8K_f \Delta t} \quad (53)$$

Para una gota de líquido puro, D_{p2} (diámetro final) = 0

Cuando un sólido esta presente en la gota, se encontrarán todas las complicaciones comunes a cualquier problema de secado.

Luego a un período de evaporación del agua libre seguirá un período donde la fase sólida ofrece la principal resistencia a la evaporación.

También se encuentra el problema cuando la superficie se endurece prematuramente. En tal caso el líquido atrapado puede ejercer presión interna cuando se vaporiza, pudiendo suceder que la partícula se ensanche o reviente, esto da un tipo de esfera hueca, el detergente es un ejemplo típico de este fenómeno.

Las correlaciones y ecuaciones presentadas así solamente representan aproximaciones al verdadero caso del secado por atomización. Presumiblemente es una aproximación justa para materiales que forman partículas porosas y para gotas con un bajo contenido de sólidos y sin tendencia a endurecerse exteriormente. No así para materiales como soluciones salinas (por los efectos de cristalización) y jabón.

A continuación se dan fórmulas que se pueden aplicar al secado por atomización, algunas son derivadas del estudio anterior.

El coeficiente de transferencia de calor para una partícula esférica a un Re debajo de 20 es:

$$h = \frac{2K_f}{D_p} \quad (54)$$

En términos de transferencia de calor, la velocidad de evaporación estaría dado por

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{2\pi K_f D_p (P_s - P_s)}{\lambda} (t_a - t_s) \quad (55)$$

En términos de transferencia de masa:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{2\pi M D D_v D_p (P_s - P_s)}{RT}$$

Para casos donde el diámetro de la gota cambia, puede usarse la siguiente ecuación para calcular el tiempo de secado:

$$\theta = \lambda \frac{\rho_1 (D_{p1})^2 - \rho_2 (D_{p2})^2}{8K_f(t_s - t_a)} \quad (57)$$

Las ecuaciones (55) y (57) asumen el secado ocurrido en el período de Velocidad Constante.

Cuando la Velocidad Constante termina y la superficie líquida de la gota se pone sólida, el tiempo de secado en el período donde la velocidad de evaporación decrece y la ° T de la partícula aumenta, período de fallingrate, es dada por Hanz y Marshall (1952).

$$\frac{1}{6} \pi D_{p1}^3 \rho_1 c_o = \frac{1}{6} \pi D_{p2}^3 \rho_2 c_f \quad (59)$$

$$\theta = \frac{\lambda (D_{p2})^2 \rho_s (W_c - w_e)}{12K_f (\Delta t)} \quad (58)$$

Como el contenido de sólidos secos en una gota permanecerá constante, un balance de materia entre el tamaño de gota inicial, como se produce en el atomizador, y el tamaño de partícula seca, fue reportado por Crosh y Marshall (1958):

De donde la razón del diámetro final de la partícula al diámetro inicial de la gota puede expresarse:

$$\frac{D_{p2}}{D_{p1}} = \sqrt{\frac{\rho_1 c_o}{\rho_2 c_f}} \quad (60)$$

Esta llega a ser aparente debido a que el tamaño de la partícula seca puede ser más pequeña o más grande que la gota inicial, dependiendo de la densidad de la partícula final D_2 y el contenido inicial C_0 .

En general C_f será aproximadamente la unidad a bajos contenidos de humedad final.

Si el valor de D_2 pudiese predecirse como una función de las condiciones de secado, entonces la predicción de la variación en el diámetro inicial debida a la evaporación y secado podría también predecirse. Sin embargo ningún procedimiento para tal predicción ha sido aún propuesto.

Nomenclatura usada en el estudio del secado de gotas

C_0 = porcentaje de sólidos en la carga

C_f = Porcentaje de sólidos en la partícula seca

C_p = calor específico a presión constante

D = constante de difusión

D_{pi} = diámetro inicial de la gota

D_{p2} = diámetro de la partícula seca

D'_{P2} = diámetro de la partícula al final del período de Velocidad Constante E_c (58)

D_v = difusividad del vapor, ft/hr

g = aceleración debida a la gravedad

h = coeficiente de transferencia de calor de la película sobre la superficie de la gota, BTU/hr ft²°F

K_f = conductividad térmica de la película BTU/ft²hr (°F/ft)

K_g = coeficiente de película, para transferencia de masa, lb-mol/hr ft² atm

M = peso molecular del vapor difundido

Re = N° de Reynold modificado: $D_p v_p / \nu$

NU = número de Nusselt: $h D_p / K_f$

UN' = número de Nusselt correspondiente a la transferencia de masa: $K_g R T D_p / D$

SC = número de Schmidt: $p./pD$

PR = número de Prandtl $C_p n/KF$

Pa= presión de vapor del líquido en el medio de secado, atm.

Ps= presión de vapor en la superficie de la partícula correspondiente a la temperatura del líquido, atm.

R = Constante del gas,

T = temperatura absoluta del gas

ta = temperatura del medio de secado (del aire de secado)

ts= temperatura en la superficie de la partícula

Δt = diferencia de $^{\circ} t$ entre la gota y el aire que lo rodea

v = velocidad relativa entre el gas y el líquido, ft/sg

w = lb de agua

wc = humedad crítica contenida, o sea humedad de la partícula al final del período de Velocidad Constante,

we = humedad final contenida en la partícula

ρ_s = densidad del fluido o aire

ρ_i = densidad del material húmedo o de la gota

$\rho_s = \rho_a$ = densidad de la partícula seca

M = viscosidad del aire, poises

θ = tiempo

= calor latente de vaporización

2.14.6. Eficiencia de Calor en un Secador Atomizador

En general dependen de las temperaturas de operación Las ecuaciones aproximadas son:

$$\text{Eficiencia total} = \frac{(t_1 - t_2)}{(t_1 - t_a)} \times 100 \quad (61)$$

$$\text{Eficiencia evaporación} = (62) \quad \frac{(t_1 - t_2)}{(t_1 - t_a)} \times 100$$

Donde:

$(t_1 - t_2)$ = caída de °t del aire debido al secado solamente.

t_a = temperatura ambiental

t_s = temperatura de saturación adiabática correspondiente a t_1

La eficiencia evaporación indica el grado de aproximación a la saturación alcanzada por el aire de secado.

La eficiencia total indica la fracción de calor entregada que es usada para el secado.

Si en las expresiones dadas la temperatura de salida se mantiene constante la eficiencia del secador se incrementa con el incremento de la temperatura de entrada.

2.14.7. Ventajas del Secado por Atomización

1.- El tiempo de secado es corto, debido a la gran superficie de secado expuesta y el pequeño tamaño de gota creado, el tiempo de secado verdadero en un secador atomizador es medido en fracciones de un segundo, mientras que el tiempo de residencia del sólido en el secador es de 5 a 30 segundos.

2.- Ciertas propiedades del producto y estimaciones de calidad pueden ser controladas y variadas:

a - La densidad del producto puede variarse dentro de un rango dado.

b -Usualmente se obtiene una partícula de forma aproximadamente esférica, algunas veces hueca o sólida. En general esta forma de partícula no se obtiene por otro método.

c. El tamaño de partícula del producto puede ser controlado o variado en un rango dado por control de las condiciones operativas.

d.- El secado por atomización preserva la calidad del producto, porque el secado es tan rápido y el material esta siempre húmedo en la zona caliente de secado, de modo que no llega a sobrecalentarse y malograrse. Además, el producto seco no se sobrecalienta si los gases se enfrían lo suficiente por el proceso de evaporación.

3.- Este método está particularmente adaptado al secado a condiciones atmosféricas, de ciertos materiales sensitivos al calor tales como los alimentos y productos farmacéuticos, los cuales de otro modo, requerirían alto vacío, baja temperatura de secado.

4.- Este método puede mostrar marcadas ventajas para una producción de alto tonelaje; aumentándose la producción el costo de secado por libra de producto llega a ser menos que para otros tipos de secadores. Esto se cumple cuando el contenido de humedad de la carga al secador no es mayor que la de la carga a otros tipos de secadores.

5- Un material que esta secándose en los secadores atomizadores, no entra en contacto con las superficies del equipo hasta que esta seco. Esto simplifica los problemas de corrosión y la selección de los materiales de construcción.

6- El secado por atomización es una operación de una sola etapa, de una carga líquida a un producto seco, esto elimina otras operaciones, tales como:

-Precipitación o cristalización

-centrifugación o filtración

-molienda

-clasificación

-tableteado o pastillaje

7. Desde que estos secadores usualmente operan a temperaturas fluctuantes entre 300° y 1000°F, su eficiencia es comparable con la de otros tipos de secadores directos, como secadores rotatorios, de túnel.

8.- El proceso es continuo, aunque puede operar con carga de un proceso batch anterior.

9.-Los costos de manutención son bajos, porque hay pocas partes movibles y la operación es limpia. Así también los costos de trabajo son bajos porque solamente se requiere un operador, aun en una gran instalación.

10.-Un producto secado por atomización comúnmente tiene una alta solubilidad y velocidad de reacción, debido a su tamaño uniforme y porosidad.

11.- El secado por atomización es un proceso soportado por aire, por lo tanto hay poco material detenido en el equipo, por lo que el equipo puede arrancarse y pararse rápidamente.

2.14.8. Desventajas del Secado por Atomización

Algunas desventajas son inherentes en la operación y otras son debidas a una falta de conocimientos fundamentales de la operación.

1- Pueden obtenerse bajas densidades volumétricas, cuando se exige un producto de alta densidad. Esto es a menudo el caso para materiales inorgánicos que son despachados por lotes de volumen fijo. Aunque la densidad volumétrica del producto de un

secador atomizador es sometido a variación, algunas veces no se puede alcanzar el mismo valor como el obtenido en otros tipos de secadores, sin acudir a procesos adicionales tales como briqueteado.

2- En general, los secadores atomizadores son relativamente inflexibles, así un secador atomizador diseñado para una atomización fina es generalmente incapaz de producir un producto grueso.

3- Para una capacidad dada, se exigen grandes cargas evaporativas de lo que sería requerido con otros tipos de secadores. Esto es debido a la exigencia de que el material a ser secado debe estar en forma bombeable para ser entregado a el atomizador, lo cual comúnmente requiere la adición de agua.

Esto puede ser una razón para tener un concepto equivocado de que este secador es ineficiente .En verdad puede ser más eficiente desde el punto de vista de utilización de calor.

4.- En general los secadores atomizadores, como se diseñan corrientemente, implican una inversión inicial alta que otros tipos de secadores continuos, excepto para altas capacidades, esto es por encima de 1500 lb de producto por hora. Por esta razón este método no tiene amplia aplicación para capacidades bajas en la industria química.

5.- Frecuentemente los problemas de recuperación de productos y colección de polvos incrementa el costo de secado, especialmente cuando se requieren bolsas - filtros para recuperar el polvo expelido por un sistema de ciclones.

2.14.9. Consideraciones para el Diseño

Todavía no ha sido posible desarrollar un método básico para diseñar los secadores atomizadores. Sin embargo en la práctica un procedimiento es hacer ensayos en plantas pilotos donde determinaremos las variables de diseño.

En general, el tamaño de la cámara, selección del atomizador y auxiliares de separación se determinan por las características físicas del producto.

Las variables importantes que deben ser fijadas antes del diseño de un secador comercial son:

- 1.- Forma y tamaño de la partícula
- 2.-Propiedades físicas carga: humedad, viscosidad, densidad, etc.
- 3.-La temperatura máxima del gas entrante y de la carga.

III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación, ha consistido en realizar una serie de pruebas experimentales para la obtención de proteínas del suero de queso en polvo, por atomización. La materia prima utilizada es el suero de queso fresco, obtenido en el distrito de Genaro Herrera-Rio Ucayali del señor Gilberto García Souza

3.2. EQUIPOS

3.2.1. Laboratorio:

- a. Estufa: Marca Arthur H. Thomas Co. Weber Electric Oven. Temperatura Regulable de 20° a 160° C.
- b. Balanza de Precisión: Marca Mettler, modelo H-5. Capacidad máxima 160 gr.
- c. Medidor digital de pH: Marca Pracitronic con electrodo.
- d. Lactodensímetro: Marca Quevenne, graduado de 20 a 37 grados de densidad.
- e. Centrifuga: Marca IEC International Centrifuge Tipo MOIST EQUIV. (100- 6,000 rpm)
- f. Desecador de vidrio: Pirex con desecante de Silicagel.
- g. Licuadora con regulador de tiempo: Marca Nacional
- h. Reloj controlador de tiempo.- Marca Universal Timer
- i. Cámara de Refrigeración
- j. Balanza con capacidad de 10 kg.
- k. Microscopio electrónico de microproyección.

3.2.2. Planta

- a. Tanque Pasteurizador (marmita). - Marca PaaschSilkeborg, tipo 031.

- b. Atomizador.- Marca Niro Atomizador, modelo ProductionMinor.Tipo 53 LTD, Copenhagen.
- c. Cámara de Refrigeración
- d. Selladora
- e. Balanza con capacidad de 100 kg.
- f. Lidiadora Industrial

3.3. MATERIALES Y REACTIVOS

- a. Moldes de quesería
- b. Bidones capacidad de 160 litros
- c. Termómetro graduado de 0 -100° C
- d. Agitador de acero inoxidable
- e. Material de vidrio, necesario para el desarrollo de los diferentes análisis.
- e. Escobilla, para la recolección del polvo de proteína de suero de queso.
- f. Bolsas de polietileno
- g. Acido Cítrico,
- i. Adicionalmente se utilizaron otros materiales y reactivos para los diferentes análisis y pruebas.

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CONTROL

3.4.1. Físico - Químicos.

- Determinación de Sólidos Totales

Se determinó el extracto seco total, simultáneamente con la determinación de la humedad, siguiendo el método indicado en la AOAC.

- Determinación de pH

Se determino mediante un medidor digital de pH

- Determinación de la Densidad.

Se determinó la densidad del suero de queso, mediante el uso de un lactodensímetro, que corresponde al método recomendado por la AOAC

-Determinación de la Densidad Aparente.

Se determinó la densidad aparente en el polvo, utilizando el método descrito y empleado por Herrera, utilizando picnómetro.

- Determinación de la Forma y Distribución del Tamaño de Partícula

Se determinó el diámetro de partícula utilizando un Microscopio Electrónico de Microproyección.

-Determinación de Proteína Total

Se utilizó el método Semimicro de Kjeldahl, siguiendo las indicaciones del AOAC.

-Determinación de Grasa

Se determinó el porcentaje de grasa siguiendo el método indicado por la AOAC

-Determinación de Ceniza

Se determinó el porcentaje de ceniza siguiendo el método indicado por la AOAC.

-Determinación de Acidez Total

Se determinó siguiendo el método de la AOAC, los resultados se expresan en grados Dornic.

3.4.2. MICROBIOLÓGICO

Se realizó el control microbiológico a la proteína atomizada encontrándose los resultados en el Apéndice A.

- Determinación de Bacterias Aeróbicas Totales.
- Determinación de presencia de Salmonella.
- Determinación de BacillusCereus.

3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima seleccionada es subproducto del procesamiento de queso fresco obtenido por coagulación enzimática (cuajo). Esta materia prima presenta las siguientes características físico-químicas:

- Temperatura : 34.5° C
- Acidez : 9°Dornic
- Densidad : 1.023 gr/cc a 20° C
- Grasa : 0.5%

NOTA:la acidez expresada en grados Dornic es el número de décimas de mL de NaOH N/9 necesarios para neutralizar frente a la fenolftaleína 10 mL de leche.

3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL:

Uno de los objetivos del presente trabajo de investigación fue la obtención de un producto final con características físico-químicas y microbiológicas aceptables. Para conseguir los objetivos propuestos se estudio la influencia de las condiciones de operación en las etapas del procesamiento que tienen mayor incidencia en las características del producto final.

En consecuencia se llevaron a cabo una serie de pruebas experimentales que serán descritas en los siguientes puntos de este capítulo.

3.7. ENSAYOS PRELIMINARES

Se realizaron pruebas preliminares con la finalidad de establecer el flujo y condiciones de operación más convenientes, para la obtención de la

proteína de suero de queso en polvo con características de calidad aceptables. En el Figura 3.1. Se muestra el Diagrama de Flujo preliminar.

Con los resultados de las pruebas preliminares, se considero conveniente estudiar la variación de los parámetros durante el proceso de obtención del producto con la finalidad de obtener las características deseadas.

Se siguió el proceso de acuerdo al flujo que se muestra en el Figura 3.1.

FIGURA 3.1. FLUJO PRELIMINAR PARA LA OBTENCIÓN DE PROTEINA DE SUERO QUESO EN POLVO

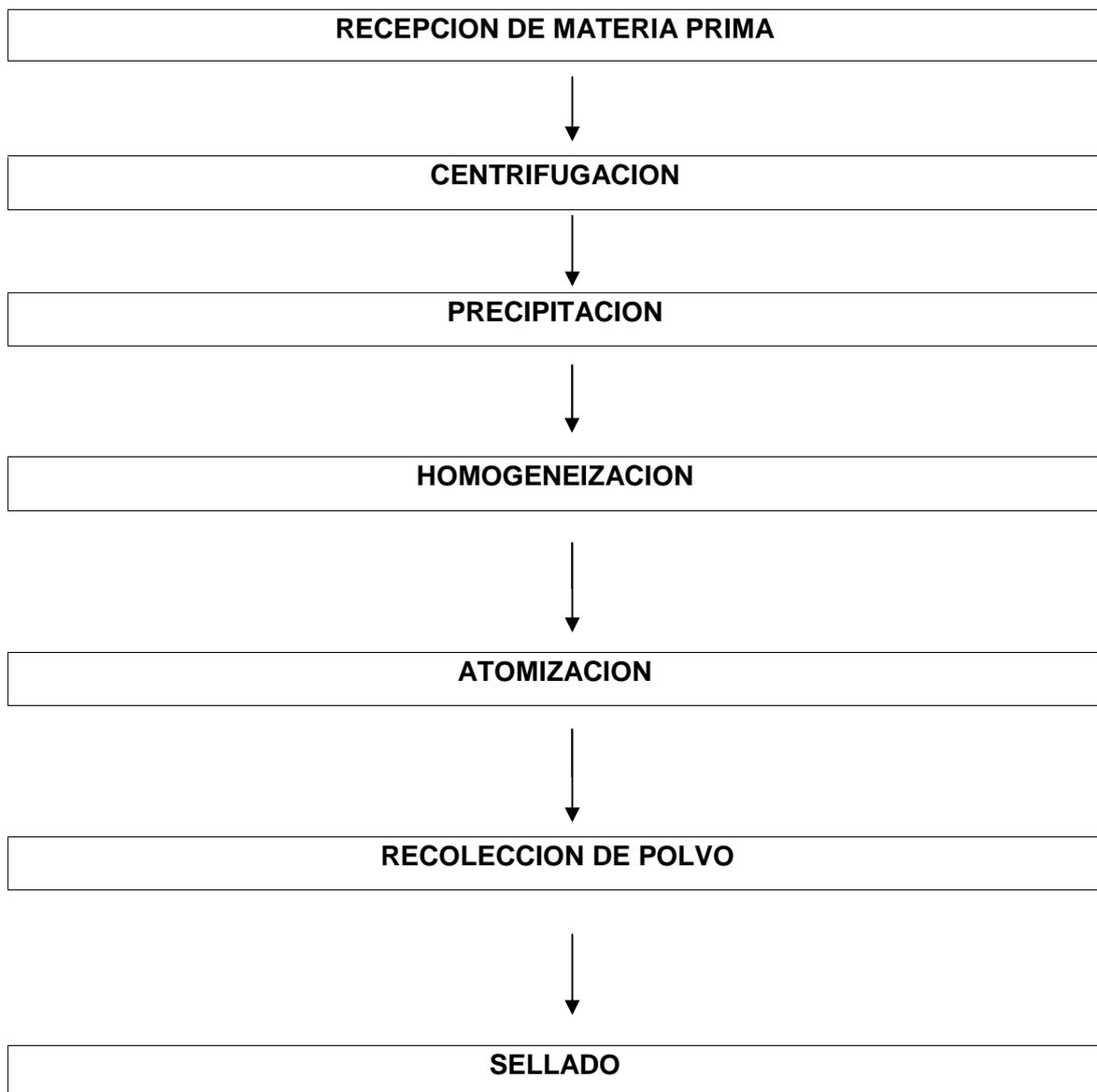
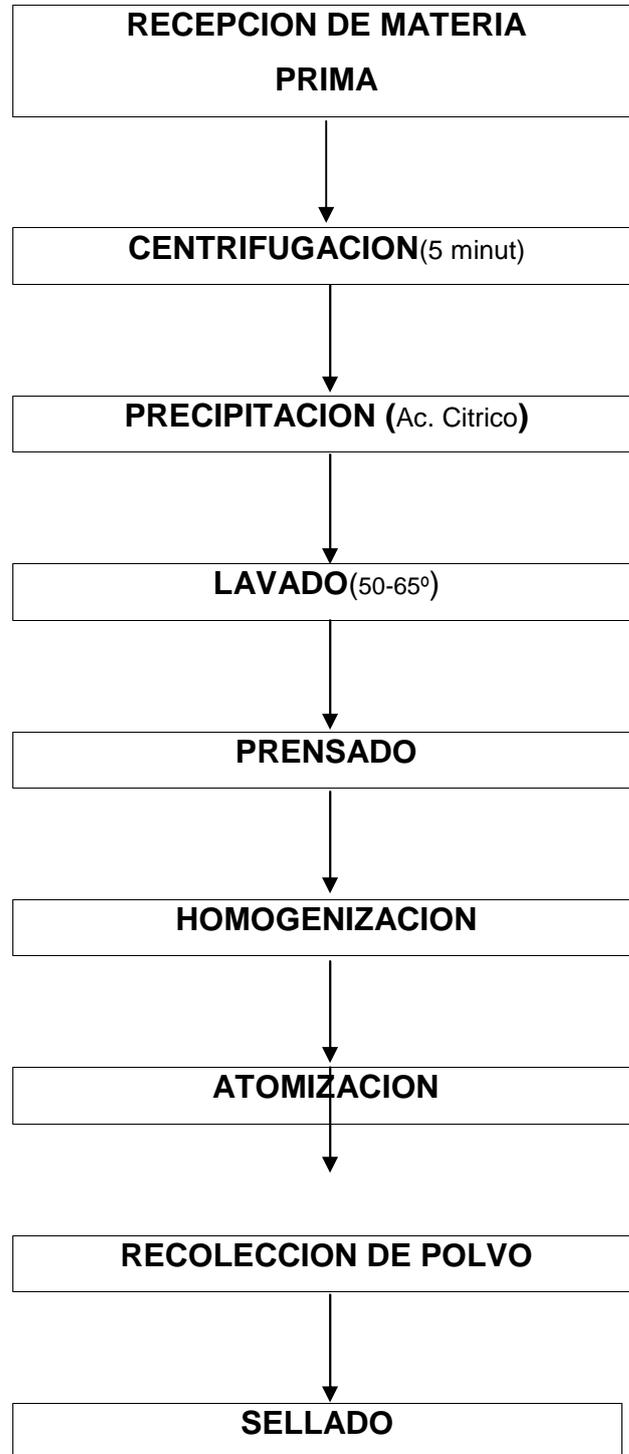


FIGURA 3.2. FLUJO FINAL PARA LA OBTENCION DE PROTEINA DE SUERO DE QUESO EN POLVO



3.8.DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO

a. Recepción de Materia Prima

La recepción de la materia prima se hizo en recipientes de *acero* inoxidable (Laboratorio) y en bidones de plástico (Planta), simultáneamente con la elaboración del queso fresco, ya que la etapa del desuerado, es una etapa intermedia de dicho proceso.

b. Centrifugación

La materia prima se centrifuga por 5 min. Este tratamiento previo se hace con la finalidad de separar la grasa (que se puede aprovechar) y los "finos" o partículas de caseína aún presentes.

c. Precipitación

Al separar la grasa y los "finos" se procede a calentar el suero hasta alcanzar una temperatura de 90 - 95° C para luego acidificar hasta 26° Domic.

La técnica operativa, consiste en someter al suero a un calentamiento rápido hasta llegar a la temperatura de 40° C; pero a partir de esta temperatura aumenta a razón de 2° C por minuto; con el agitación lento del suero para lograr el calentamiento uniforme en toda la masa.

Se nota una opalescencia del suero causada por el precipitado de pequeñas partículas del mismo y que ascienden a la superficie del líquido lo cual ocurre generalmente alrededor de 78° C; se continua el calentamiento hasta 90° C y enseguida se agrega el Acido Cítrico en una proporción de 0.09 % de suero a tratar (10 l), agitando suavemente para homogenizar la mezcla durante 10 minutos. Posteriormente se detiene la agitación continuando el calentamiento entre 90 y 95 ° C que es la mas adecuada para la precipitación de sólidos y proteínas, las cuales ascienden a la superficie formando una masa blanca. Se detiene el

calentamiento dejándolo reposar por espacio de 10 minutos antes de proceder a su separación. El siguiente paso es la separación del precipitado mediante moldes queseros para el escurrido del suero.

d. Lavado

La proteína precipitada es sometida a lavados continuos a temperatura de 55 - 60° C, hasta llegar a una acidez de 2 - 3°Domic. Los lavados se realizan con agua previamente hervida.

e. Prensado

La proteína lavada se prensa en moldes queseros con la finalidad de disminuir el volumen de agua y lactosa favoreciendo de esta manera el rendimiento del concentrado proteínico.

f. Homogeneización

Una vez conocido los sólidos totales del producto prensado se prepara una concentración adecuada para la etapa de secado por atomización.

g. Atomización

La solución que se encuentra a temperatura ambiente es atomizada a diversas temperaturas de ingreso: 160, 180 y 200° C; siendo su temperatura de salida en un intervalo de 75 - 85° C. Las condiciones de trabajo en el secado fueron:

❖ Influencia de la concentración inicial de sólidos.

Para estudiar la influencia de la concentración de sólidos se realiza a la proteína de suero de queso en polvo los siguientes análisis:

- a) Porcentaje de humedad final
- b) Densidad Aparente
- c) Tamaño y Distribución de Partículas

Los valores estudiados de concentración inicial en la alimentación al secador fueron: 4, 5 y 6 %; estos valores fueron escogidos en base a pruebas preliminares.

Las condiciones de operación para las pruebas de secado de esta parte se muestran en la Tabla 3.1.

❖ **B.- Influencia de la Temperatura de Entrada del Aire.**

Se realizaron experimentos a tres temperaturas de entrada del aire: 160, 180 y 200° C. Los cuales fueron escogidos en base a referencias bibliográficas y analizadas en las pruebas preliminares.

Las condiciones de operación en el secador se muestran en el Tabla 3.2.

TABLA 3.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE SECADO DE PROTEÍNA DE SUERO DE QUESO, EN FUNCIÓN A LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS

| Prueba | Concent. (% S.T.) | Entrada (°C) | Salida (°C) | Temperatura de Alimentación (°C) | Velocidad de Alimentación (gr/min) | Velocidad de Atomización (r.p.m) | Presión (kg/cm ²) |
|--------|-------------------|--------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| P1 | 4 | 200 | 80 | 18 | 12 | 30,000 | 4 |
| P2 | 5 | 200 | 80 | 18 | 12 | 30,000 | 4 |
| P3 | 6 | 200 | 80 | 18 | 12 | 30,000 | 4 |

TABLA 3.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE SECADO DE PROTEÍNA DE SUERO DE QUESO, EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AIRE

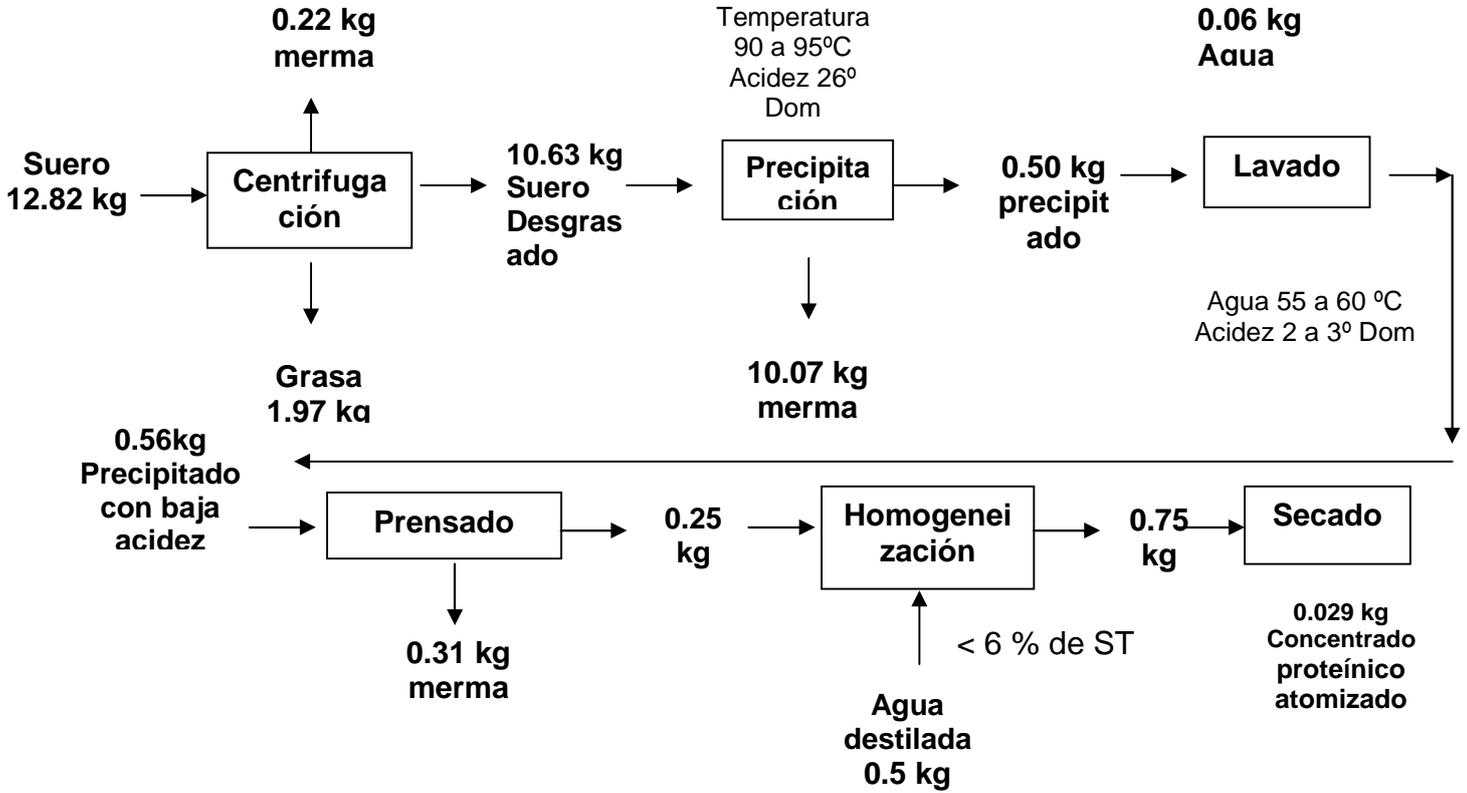
| Prueba | Concent. (% S.T.) | Temperatura de Secado | | Temp. de Aliment. PC) | Velocidad de Alimentación (gr/min) | Velocidad de Atomización (r.p.m.) | Presión (kg/cm ²) |
|--------|-------------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | | Entrada(°C) | Salida(°C) | | | | |
| 4 | 5 | 80 | 77.5 | 18 | 12 | 30,000. | 4 |
| 5 | 5 | 80 | 77.5 | 18 | 12 | 30,000 | 4 |
| 6 | 5 | 80 | 77.5 | 18 | 12 | 30,000 | 4 |

h.Recolección y Sellado del Producto

Tomando las precauciones de higiene se procede a la recolección del polvo atomizado en bolsas de polietileno (de alta densidad y de color blanco para evitar su exposición a la luz). En cuanto al sellado del producto se requiere de una operación al vacío para evitar la presencia de bacterias aeróbicas que dan lugar al enranciamiento del producto debido a su alta higroscopicidad.

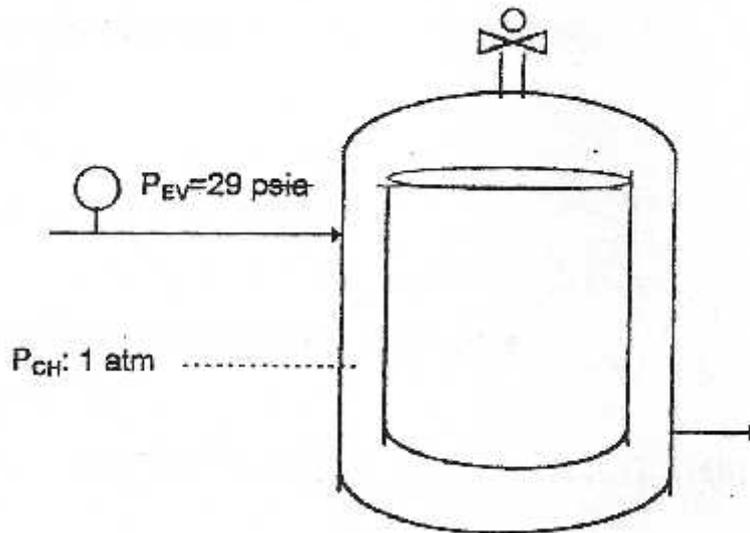
3.9. CALCULO DE INGENIERÍA

BALANCE DE MATERIA A NIVEL LABORATORIO



3.9.1. Balance de Energía en la Precipitación de la Proteína del Suero de Queso a Nivel Laboratorio

Para la precipitación de la proteína del suero de queso, se requiere calentar la mezcla (~92°C) en medio ácido. Para la prueba se utilizó una marmita (Planta de Leche de la universidad la Molina) y se utiliza vapor saturado para el calentamiento.



τ : Calor latente total de MSQ: Suero de queso en la alimentación de la marmita, kgMsq= Masa de suero de queso, Kg

mv: Vapor suministrado a la marmita (saturado), Kg/hr

E2: Agua evaporada al calentar el suero, kg.

C2: Vapor condensado, kg/hr

λ_s^{PE} : Calor latente de vaporización a la presión P_e , kcal/kg

Cpsq: Calor específico del suero de queso, kcal/kg °C

P_{EV} : Presión media del vapor de entrada a la chaqueta, psia

P_{CH} : Presión en la chaqueta, atm

T_1 : Temperatura de la alimentación (°C)

T_2 : Temperatura de precipitación (°C)

$$AT: T_2 - T_1$$

r_v : Calor latente total de vaporización (Kcal/kg) h_{RV} : h_{rv} :

Calor de Revaporizado (Kjoule/Kg)

Q_{PT} : Calor de Perdidas totales Q_T : Calor total

Q_{sr} : Calor sensible requerido por el suero T_e : tiempo de calentamiento

3.9.2. Balance de Energía en la Marmita

Carga de suero en la marmita $M_{SQ}=150$ kg a 20°C

$$Q_t = Q_{sr} + Q_{pt} \dots \dots \dots (\alpha)$$

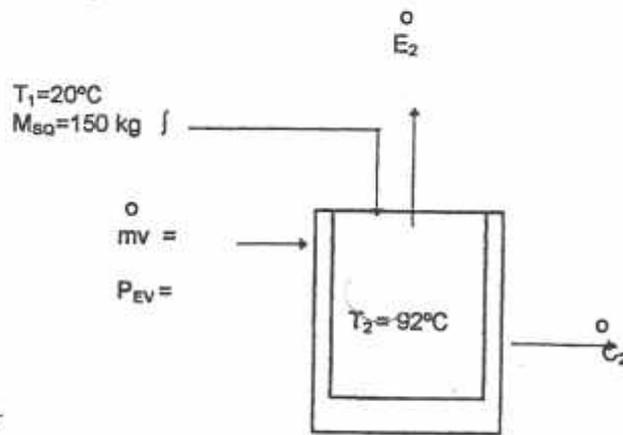
Para una presión media del vapor $P_{ev} = 29 \text{ psia}$. 1 atm

$$Q_T = m v \lambda_s + m v (h_g^{29} - h_g^{14.7}) \quad (\beta)$$

Donde:

h_g^{29} = entalpia del vapor saturado a 29 psia

h_g^{1atm} = entalpia del vapor saturado a 1 atm



Calor sensible requerido por el suero:

$$Q_{sr} = \frac{M_{so} \times C_{psg} \times \Delta T}{t_c} = 150 \text{ kg} \times 0.8821 \text{ kcal / Kg} \times \text{C} \times (92 - 20) \text{ C}$$

Cálculo de las Pérdidas Calóricas Totales: Qpt

TABLA 3.3. PÉRDIDAS DE CALOR EN TANQUES ABIERTOS

| Temperatura del liquido (°C) | Calor perdido en superficie del líquido (Kcal/m ² x hr) | | | Calor perdido por las paredes del tanque sin aislamiento (Kg / m ² x hr) |
|------------------------------|--|-----------|-------|---|
| | EVAPORACION | RADIACION | TOTAL | |
| 60 | 1790 | 434 | 2224 | 434 |
| 80 | 4329 | 678 | 5007 | 678 |
| 100 | 5289 | 746 | 6035 | 746 |
| | 9092 | 998 | 10090 | 998 |

Fuente: Datos Extraídos del Catalogo "CondensedCatalog", SpiraxSarco, 2010

a) **Calor Perdido por Evaporación.- Q_{pe}**

Para una área transversal igual a: $A_T = 0.3421 \text{ m}^2$

Interpolando de la tabla anterior, las pérdidas por evaporación (Q_{PE}), a la temperatura de 92°C . resulta igual a:

$$Q_{PE} = Q_{PEX} A_T = 7063.73 \text{ Kcal/m}^2 \times \text{hr} \times 0.3421 \text{ m}^2 = 2416.502 \text{ Kcal/hr}$$

b) **Calor perdido por Radiación.- Q_{PR}**

$$A_T = 0.3421 \text{ m}^2$$

Interpolando en la tabla, las pérdidas por radiación, a la temperatura de operación de 92°C : $Q_{PR} = 863.6 \text{ Kcal/m}^2 \times \text{hr}$ por lo tanto:

$$Q_{PR} = Q_{PRX} A_T = 863.6 \text{ Kcal/m}^2 \times \text{hr} \times 0.3421 \text{ m}^2 = 295.44 \text{ Kcal/hr}$$

c) **Calor Perdido por las Paredes del Tanque.- Q_{PC}**

Área de las paredes del cilindro: $A_c = 1.2289 \text{ m}^2$

Interpolando en la tabla de pérdidas, obtenemos el calor perdido por conducción:

$$Q_{PC} = 863.6 \text{ Kcal/m}^2 \times \text{hr}$$

$$Q_{PC} = Q_{PCX} A_c = 863.6 \text{ Kcal/m}^2 \times \text{hr} \times 1.2289 \text{ m}^2 = 1061.293 \text{ Kcal/hr}$$

Por lo tanto las pérdidas totales en el sistema será:

$$Q_{PT} = Q_{PE} + Q_{PR} + Q_{PC}$$

$$Q_{PT} = 3773.235 \text{ Kcal/hr}$$

Cálculo de la Cantidad de Vapor Requerido por el Sistema.- m_v
igualando las ecuaciones (α) y (β)

$$Q_{sr} + Q_{tp} = m_v x k_v^{1\text{atm}} + m_v (h_g^{29} - h_g^{147}) \quad ()$$

De las tablas de vapor saturado ("J.A. Ragas Miranda)

$$v^{1\text{atm}} = 539.1 \text{ Kcal/kg}$$

$$h_g^{29} = 646.48 \text{ kcal/kg}$$

$$h_g^{147} = 639.89 \text{ kcal/kg}$$

Por lo tanto reemplazando en (A.):

$$9526.68 \text{ kcal/hr} + 3773.235 \text{ Kcal/hr} = m_v \times 539.1 \text{ Kcal/Kg} + m_v (646.48 - 639.89) \text{ Kcal/kg}$$

despejando:

$$m_v = 24.37 \text{ kg vapor/hr a 29 psia}$$

Fracción de pérdidas en el sistema:

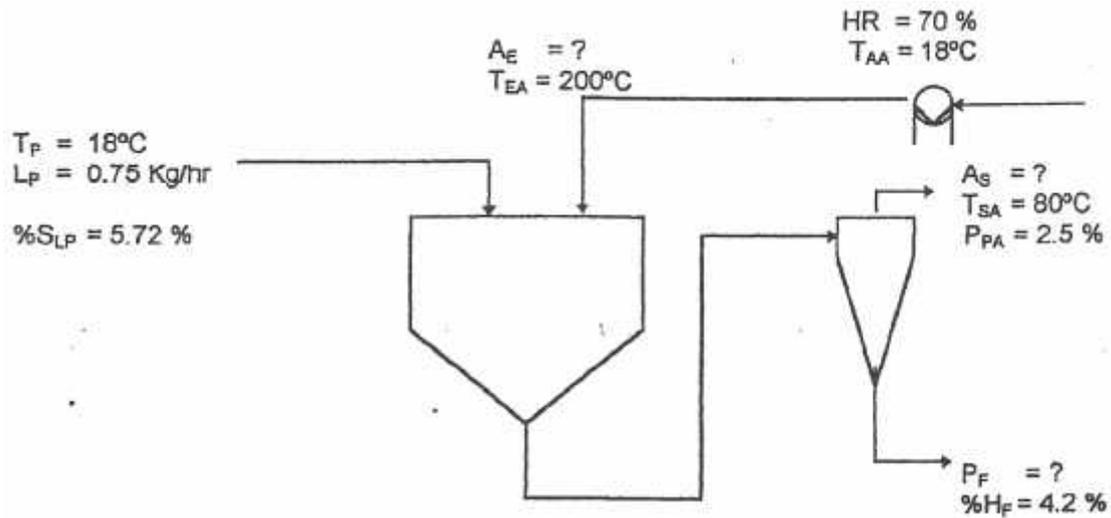
$$Q_T = Q_{SR} + Q_{PT} = 13299.915 \text{ Kcal/hr}$$

$$\% \text{ Pérdidas Calóricas} = \frac{Q_{PT} \times 100}{Q_T} = \frac{3773.235 \times 100}{13299.915}$$

$$\% \text{ Pérdidas Calóricas} = 28.37 \%$$

3.9.3. Cálculo en el Secado por Atomización

3.9.3.1. Balance de Materia en el Atomizador



L_P = Flujo de Alimentación con 5.72% en sólidos (Kg/hr)

P_S = Sólido Seco, con 0% de humedad (Kg/hr)

H_F = Humedad Final del producto seco

P_F = Sólido final, secado, con $H_F\%$ de humedad (Kg/hr)

A_E = Aire que Entra al Secador

A_S = Aire que Sale del Secador

P_{PS} = Sólidos que se pierden en el secador

P_{PA} = Sólidos que se pierden en el aire

P_{PT} = Pérdidas de proteínas totales en el aire

F_{ev} = Flujo de agua que se vaporiza en el secado

T_P = Temperatura de alimentación

T_{EA} = Temperatura del aire a la entrada del secador

T_{SA} = Temperatura del aire a la salida del secador

T_{AA} = Temperatura del aire ambiente

H_R = Humedad Relativa 70%

Balance de Materia:

$$PF = P_s + H_F \quad (1)$$

$$0.572 L_p = P_s + P_{pT} \quad (2)$$

Conociendo las pérdidas totales en el sistema del balance de sólidos a la entrada y salida del secador: $p_{pt} = P_{ps} + P_{pa} = 34.5 \%$

y de acuerdo a las especificaciones de este tipo de secadores. Las pérdidas de sólidos que ocasiona el transporte neumático, en equipos de laboratorio están en el orden de 2 a 3 %.

Asumiendo: $\%P_{PA} = 2.5\%$

Entonces: $\%P_{PS} = 32 \%$

Además de un balance de agua:

$$(1 - 0.0572)L_p = F_{AV} + H_f \quad (3)$$

Conociendo las pérdidas en el secador y teniendo sólidos totales

$$(2): 0.0572 \times L_p$$

$$P_{pT} = 0.345 (0.0572 \times 0.75) = 0.0148 \text{ Kg/hr} = 14.8 \text{ gr/hr}$$

Para una humedad final del producto igual a: 4.2 %

$$\frac{H_F}{P_s - H_F} = 0.04 \quad (4)$$

Tenemos :

Reemplazando

L_p y P_{PS} en (2):

$$P_s = 0.0281 \text{ Kg/hr}$$

Luego:

$$P_s = 28.1 \text{ gr/hr}$$

Reemplazando P_s en (4):

$$H_F = 0.042P_S + 0.042H_F$$

$$H_f = 0.001232 \text{ kg/hr} = 1,232 \text{ gr/hr}$$

Por lo tanto P_S y H_F en (1)

$$P_F = 0.029332 \text{ Kg/hr} \Rightarrow P_F = 29.332 \text{ gr/hr}$$

Finalmente: L_P y H_F en (3)

$$F_{AV} = 0.708332 \text{ Kg./hr} = 708.332 \text{ gr/hr}$$

3.9.3.2. Balance de Energía en el Atomizador

Partiendo de un aire ambiente a 18°C (Temperatura de bulbo seco: T_G) y una humedad relativa (H_R) de 70 %. Se determina en la Carta Psicrométrica (Treybal: 260):

$Y_{ES} = 0.0095 \frac{\text{Kg vapor de agua}}{\text{Kg aire seco}}$: humedad del aire ambiente a la entrada del secador

Proceso de Secado no Adiabático

Asumiendo 12 % de pérdidas caloríficas en el secador:

1° Determinamos la entalpia del aire ambiente (18°C y 70 % H_R) en la carta psicométrica:

$$AH^{18^\circ C} = 10.4614 \text{ Kcal/KgAS.}$$

2° Considerando una operación adiabática:

$$AH^{200} = AH^{80} = 260 \text{ KJ/KgAS} = 62.1 \text{ Kcal/KgAS.}$$

Para una operación real, considerando una pérdida calorífica de 12 % En este caso $AH^{200^\circ C} > AH^{80^\circ C}$

$$AHR^{80^\circ C} = (1 - 0.12) AH^{200^\circ C} = 228.8 \text{ KJ / Kg} = 54.65 \text{ Kcal/KgAS.}$$

3° Con el valor de la entalpia a la salida del secador, encontramos la recta de operación (no adiabática) trazada en la carta psicrométrica interceptando esta recta con la perpendicular al eje de la temperatura en el punto de salida del secador (80°C), se determina la humedad del aire de salida en el secador, (Y_{ss}):

$$Y_{ss} = 0.0565 \text{ Kg.V.Agua/ KgAS.}$$

Determinándose con esto, primero la cantidad de calor que absorbe el aire: $Q_m = AH^{200^\circ\text{C}} - AH^{180^\circ\text{C}} = 62.1 - 10.4614 = 51.64$ Kcal/KgAS. Además la cantidad de agua absorbida por el aire:

$$V_M = Y_{ss} - Y_{es} = 0.0565 - 0.0095 = 0.047 \frac{\text{Kcal Vapor}}{\text{Kg AS}}$$

También se determinará el flujo de aire requerido para secar el lodo alimentado hasta una humedad final 4.2 % (% Hf)

$$A_E = \frac{F_{AV}}{Y_{ss} - Y_{ES}} + \frac{Y_{ES} F_{AV}}{Y_{ss} - Y_{ES}} = \frac{0.70833}{0.047} + \frac{0.0095 \times 0.70833}{0.047}$$

$$A_e = 15.214 \text{ Kg aire seco/hr}$$

Del Balance de Aire a la Salida del Secador, se tiene la siguiente ecuación:

$$A_s = A_E + F_{av} + PPa \quad (5)$$

Reemplazando valores en (5)

$$A_s = 15.214 + 0.70833 + 0.001073$$

$$A_s = 15.9234 \text{ Kg aire húmedo/hr}$$

Finalmente podremos calcular la energía requerida para el secado:

$$Q_{pfj} = \frac{AH^{200^{\circ}C} - AH^{18^{\circ}C}}{Y_{ss} - Y_{es0.047}} = \frac{51.61 \text{ Kcal/KoAS.}}{1098.7234 \text{ Kcal/Kg Vapor a evaporar}} = 51.61 \text{ Kcal/KoAS.} = 1098.7234 \text{ Kcal/Kg Vapor a evaporar } Y_{ss} - Y_{es0.047} \text{ Kg vapor/KgAS.}$$

Resultando la cantidad total requerida para el secado igual a: $Q_{t.r.s} = Q_{r.s} \times F_{a.v.}$

$$Q_{t.r.s} = 1098.7234 \text{ Kcal/Kg vapor} \times 0.70833 \text{ KgV/hr} = 778.261 \text{ Kcal/hr}$$

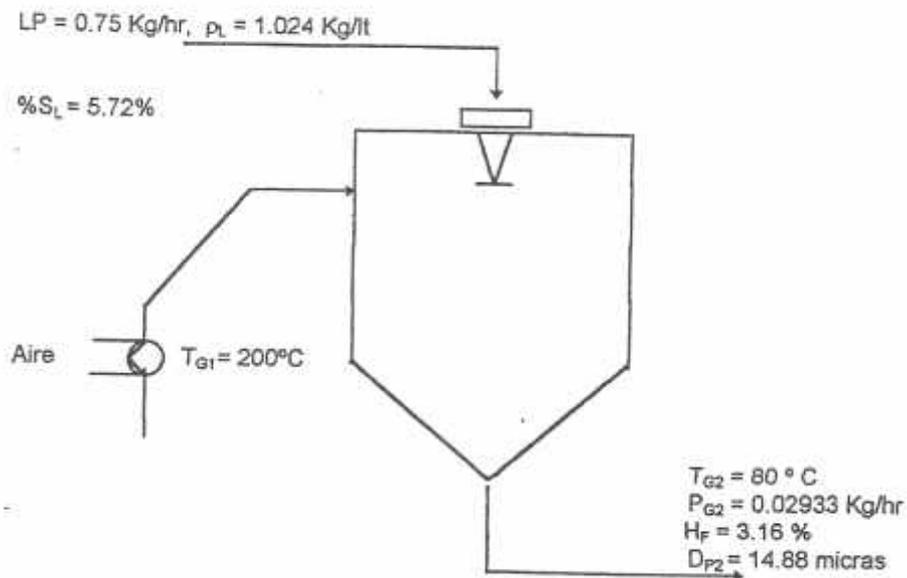
También se podrá determinar la Energía Total que absorbe el aire para el secado, ($Q_{t.a.a.s}$):

$$Q_{t.a.a.s} = Q_{aax} A_E = 51.64 \text{ Kcal/KgA.S.} \times 15.214 \text{ Kg AS./hr} = 785.651 \text{ Kcal/hr} = 913.712 \text{ Watt}$$

3.9.3.3. Cálculo del Tiempo de Secado en el Atomizador

La temperatura de la gota en el período Velocidad Constante se asume aproximadamente igual a la temperatura del bulbo húmedo (T_w) del aire secador, que es para nuestro caso: $T_w = 200^{\circ}C - 48.75^{\circ}C$ y una temperatura de bulbo seco a la entrada del secador igual a $T_{g1} = 200^{\circ}C$, saliendo el aire de secado a $T_{g2} = 80^{\circ}C$. Asumiremos para estos cálculos que la línea de operación coincide con la línea de enfriamiento adiabático.

Los datos para los cálculos se tomarán de la Prueba P6 del secado por atomización a Nivel Piloto.



Dp_1 = Diámetro de gota a la salida del disco atomizador, mt

Dp_2 = Diámetro de partícula a la salida del secador, mt

Dp = Diámetro de partícula promedio, mt

T_{G1} = Temperatura de bulbo seco a la entrada del secador, °C

T_{G2} = Temperatura de bulbo seco a la salida del secador, °C

T_w = Temperatura de bulbo húmedo en la línea de enfriamiento adiabático, °C

T_{ga} = Temperatura de bulbo seco del aire ambiente., °C

Y_t = Humedad absoluta del aire a la entrada del secador, Kg .Agua/Kg aire seco

Y_2 = Humedad absoluta del aire a la salida del secador, Kg Agua/Kg aire seco

K_{fjvg} = Conductividad térmica del agua a la temperatura de bulbo húmedo, Kcal/mthrx°C

ρ_L = Densidad del lodo a la entrada del secador, Kg/lt

P_{ss} = Densidad del sólido secado, Kg/lt

$\frac{dW}{d\theta}$ = Velocidad de secado : Kg agua/hr

M_{A1} = Humedad inicial en la gota a la salida del disco atomizador: Kg agua

M_{A2} = Masa de agua de la partícula a la salida del secador, Kg agua

%SL = % de sólidos totales en el lodo alimentado

%S_S = % Sólidos Totales en el producto seco

%H_F = % de humedad final a la salida del secador

Mac = masa de agua al final del período Velocidad Constante (Humedad Crítica), Kg

MA.e.cR = masa de agua extraída en el período Velocidad

Constante, kg Ma.e.fr = masa de agua extraída en el período de FallingRate, kg

cr = Tiempo para secar una gota hasta la Humedad Crítica, hr.

fr = Tiempo para secar una partícula hasta la humedad final, hr.

Por análisis de tamaño de partícula a la salida del secador:

$$D_{p2} = 14.88 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Para determinar el tamaño de gota a la salida del disco atomizador usaremos la siguiente ecuación:

$$\frac{D_{p2}}{D_{p1}} = \sqrt{\frac{\rho_L \cdot x \% S_L}{\rho_{SS} \cdot x \% S_s}} \Rightarrow D_{p1} = \frac{14.88}{\sqrt[3]{\frac{1.024 \times 5.72}{0.5423 \times 96.84}}} = 30.9 \text{ micras} = 30.9 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\text{Luego: } \overline{D_p} = \frac{D_{p1} + D_{p2}}{2} = \frac{30.9 + 14.88}{2} = 22.9 \text{ micrones} = 2.29 \times 10^{-5}$$

Además las condiciones del producto a la entrada y salida del secador

$$P_i = 1.024 \text{ Kg/lit}$$

$$\%S_L = 5.72$$

$$p_{ss} = 0.5423 \text{ Kg/lit}$$

$$\%S_S = 96.84 \%$$

Para la etapa de secado constante se considera que la gota está completamente mojada por lo tanto podremos asumir que la

conductividad térmica de la película en la interfase, predominará la conductividad térmica del agua:

48.75°C

Kf.Ag= 0.5436 Kca)

mtxhrx°C

Además el calor latente de vaporización del agua a la Tw de bulbo húmedo es 48.75°C

v= 569.096 Kcal/Kg

a) Cálculo de la Velocidad de Secado para el Período de Velocidad Constante:

$$\left[\frac{dW}{d\theta} \right]_{cr} = \frac{2\pi K_{f,Ag}^{ev} D_p (T_{gl} - T_x)}{\lambda_c^{ev}} = \frac{2\pi \times 0.5436 \times 2.29 \times 10^{-3} (200 - 48.75)}{569.096}$$

$$\left[\frac{dW}{d\theta} \right]_{cr} = 2.0788 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg Agua}}{\text{hr}}$$

Humedad final en la gota a la salida del disco atomizador:

$$M_{A1} = (1 - 0.0572) \frac{4\pi}{3} (D_{P1}/2)^3 \rho_l = 0.9428 \times \frac{4\pi}{3} (3.09 \times 10^{-5}/2)^3 \times 1.0024$$

$$M_{A1} = 1.491 \times 10^{-14} \frac{\text{Kg agua}}{\text{hr}}$$

Humedad final de la partícula a la salida del secador

$$M_{A2} = (0.042) \frac{4\pi}{3} (D_{P2}/2)^3 \rho_{ss} = 0.042 \times \frac{4\pi}{3} (1.488 \times 10^{-5}/2)^3 \times 0.523$$

$$M_{A2} = 2.96 \times 10^{-17} \text{ Kg agua}$$

b) Cálculo de la Humedad Crítica (Final del Período Velocidad Constante)

Considerando la densidad del sólido en este punto igual a la densidad de la partícula a la salida del secador, siendo esta una densidad (pss) aparente que considera los intersticios dejados por el agua.

Además la humedad crítica para estos productos se alcanza alrededor del 30 % de humedad, por lo tanto:

$$M_{c2} = (0.30) \frac{4\pi}{3} (D_{r2}/2) \rho_{SS} - 0.30 \times \frac{4\pi}{3} (3.09 \times 10^{-5} / 2)^3 \times 0.5423$$

$$M_{c2} = 2.51 \times 10^{-17} \text{ Kg agua}$$

Así tenemos que la masa de agua extraída al final del período Velocidad Constante será igual a:

$$M_{A.e.cR} = M_{Ai} - M_{Ac} = 1.491 \times 10^{-14} - 2.51 \times 10^{-15} M_{A.e.cR} = 1.24 \times 10^{-14} \text{ Kg agua.}$$

Por consiguiente el tiempo requerido para .secar una gota hasta la humedad crítica será igual a:

c) Cálculo de la Velocidad de Secado para el Período de Velocidad Decreciente:

Cuando el período de secado constante termina y la superficie líquida de la gota se pone sólida, el tiempo de secado en el período donde la velocidad de evaporación decrece y la temperatura de la partícula aumenta, período Velocidad Decreciente, es dada por Hanz y Marshall (1952).

$$\theta = \lambda(D_{p2}) \rho_s(W_c - W_e) \quad (62)$$

Diferenciando la Ec.62 obtenemos:

$$\left[\frac{dW}{d\theta} \right] = \frac{12 \times K_p \times \Delta T}{\lambda D_{p2}^2 \rho_s} \dots \dots \dots (62b)$$

En el período Velocidad Decreciente que la temperatura de la partícula comienza a aumentar por encima de la temperatura del bulbo húmedo aproximándose a la temperatura del aire de secado (temperatura de bulbo seco).

Consideraremos una temperatura media para el aire que se irá enfriando:

Luego:

$$T = 140 - 48.75 = 91.25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, la conductividad térmica del aire a 140°C es igual a

Aire

$$K_{140^\circ\text{C}} = 0.0251 \text{ Kcal}/(\text{mt} \times \text{hr} \times ^\circ\text{C})$$

Reemplazando en la Ec. 62b:

$$\left[\frac{dW}{d\theta} \right] = \frac{12 \times 0.0251 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \times \text{hr} \times ^\circ\text{C}} \times 91.25^\circ\text{C}}{(1.488 \times 10^{-5})^2 \times \left(569.10 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) \times 0.5423 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 1000} = 402211 \frac{\text{Kg Humedad}}{\text{Kgsolidos} \times \text{hr}}$$

Como el peso de una partícula considerada esférica de $P_2 = 0.5423$

y $D_{p2} = 1.488 \times 10^{-5}$ mt. , por lo tanto:

$$P_{p2} = \frac{4\pi(D_{p2}/2)^3}{3} \times \rho_2 = \frac{4\pi}{3} (1.488 \times 10^{-5}/2)^3 \times 0.5423$$

Peso de Partícula Secada = $Pk. = 9.355 \times 10^{-16}$ Kg. sólido

Por lo tanto, la velocidad de secado es:

$$\left[\frac{dW}{d\theta} \right]_{FR} = 402211 \times 9.355 \times 10^{-16} = 3.7627 \times 10^{-10} \text{ Kg. agua / hr.}$$

Cantidad de agua a ser extraída en el Período Velocidad Decreciente

$$M_{A.E.FR} = M_{A.C} - M_{A2} = 2.51 \times 10^{-15} - 2.96 \times 10^{-17} = 2.48 \times 10^{-15} \text{ Kg agua}$$

Tiempo de secado para el Período Velocidad Decreciente:

$$\theta_{FR} = \frac{M_{A.E.FR}}{\left[\frac{dW}{d\theta} \right]_{FR}} = \frac{2.48 \times 10^{-15}}{3.7627 \times 10^{-10}} = 6.59 \times 10^{-6} \text{ hr} = 0.02372 \text{ seg}$$

$$\theta_{TOTAL} = \theta_{CR} + \theta_{FR}$$

$$\theta_T = 2.18 \times 10^{-6} + 2.37 \times 10^{-2}$$

$$\theta_T = 2.37 \times 10^{-2} \text{ seg.}$$

**TABLA 3.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN CÁLCULOS DE INGENIERÍA
EQUIPO: MARMITA**

| | |
|---|--|
| Cantidad de Vapor Requerido en el Sistema | $m_v = 24.37 \text{ kg/hr a } 29 \text{ psia}$ |
| Calor Total Requerido por el Sistema | $Q_T = 13,299.92 \text{ Kcal/hr}$ |
| Porcentaje de Perdidas Caloríficas | 28.37 % |

EQUIPO: ATOMIZADOR

| | |
|---|--|
| Flujo de Agua que se Vaporiza en el Secado | $F_{AV} = 708.33 \text{ g/hr}$ |
| Cantidad Total de Energía Requerida para el Secado | $Q_{t.r.s.} = 778.26 \text{ Kcal/hT}$ |
| Cálculo de la Velocidad de Secado en el Período de ConstantRate | $[dW/d\theta]_{CR} = 2.08 \times 10^{-5} \text{ Kg agua/hr}$ |
| Cálculo de la Humedad Crítica | $M_{AC} = 2.51 \times 10^{-15} \text{ Kg agua}$ |
| Tiempo Requerido para secar una Gota hasta la Humedad Crítica | $\theta_{CR} = 2.18 \times 10^{-6} \text{ seg}$ |
| Cálculo de la Velocidad de Secado en el Período de FallingRate | $[dW/d\theta] = 3.76 \times 10^{-10} \text{ Kg agua/hr}$ |
| Tiempo de Secado para el Período de FallingRate | $\theta_{FR} = 2.37 \times 10^{-2} \text{ seg}$ |

3.10. CONTROL DE EFLUENTES EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PROTEÍNA

A lo largo del proceso de recuperación de proteína de suero de queso por atomización se eliminan residuos orgánicos (grasa y lactosa) en las etapas de centrifugación, precipitación y lavado, los cuales son factibles de ser controlados.

Balance de Materia en el Proceso

Partiendo de la cantidad inicial a procesar: 532 kg. de suero de queso, sin tratar, y conociendo además la composición inicial de este producto, Fig. 3.3.

Haciendo un primer balance en el centrifugado se obtiene 450 kg de suero desgrasado y 82 kg de suspensión de los cuales se recupera por centrifugación 1.2113 kg de grasa que significa un 63.4 % de la grasa contenida en el suero inicial, la cual podría ser comercializada para la preparación de mantequilla. Por un lado se logra eliminar la grasa principal contaminante en los efluentes y por otro lado eliminar un primer

licor (Licor-1) con baja concentración de componentes orgánicos, encontrándose en mayor proporción agua. (Ver Tabla 3.4.)

En la precipitación, etapa en la cual se recupera las proteínas del suero desgrasado, el efluente eliminado, Licor-2 (433.25 kg.), presenta una cantidad considerable de lactosa (5 % del total) la cual es factible de ser recuperada mediante un tratamiento de cristalización donde la masa concentrada se introduce en un recipiente enfriador hasta 30°C durante 8 hr. seguido de una disminución de la temperatura a 20 °C manteniéndose durante 4 hr a 10 °C removiendo la masa lentamente cada 2 hr .paraque después De_24 hr, se-forme una pasta cristalizada en gruesos cristales. Esta masa cristalizada se mezcla con agua fría en la proporción de 5:2 para hacerla más fluida . De esta manera en una centrifugadora, la lactosa cristalizada se separa de la melaza y se seca en cámaras secadoras a 75°C durante 6 hr. Así este licor estaría libre de un agente contaminante.

En la etapa de lavado, se necesita 132 kg de agua, obteniéndose una suspensión lavada con un contenido de sólidos totales menor al 6 % condición necesaria para la etapa de secado (43.74 kg de suspensión con 5.35 % de sólidos).

Durante esta etapa el licor eliminado (Licor-3), presenta niveles bajos de contaminación como se observa en la Tabla 8. Luego este licor no requiere de tratamiento alguno por encontrarse dentro de los límites permisibles para ser considerado un efluente no contaminante para el medio ambiente.

FIGURA 3.3. BALANCE DE MATERIA DE EFLUENTES

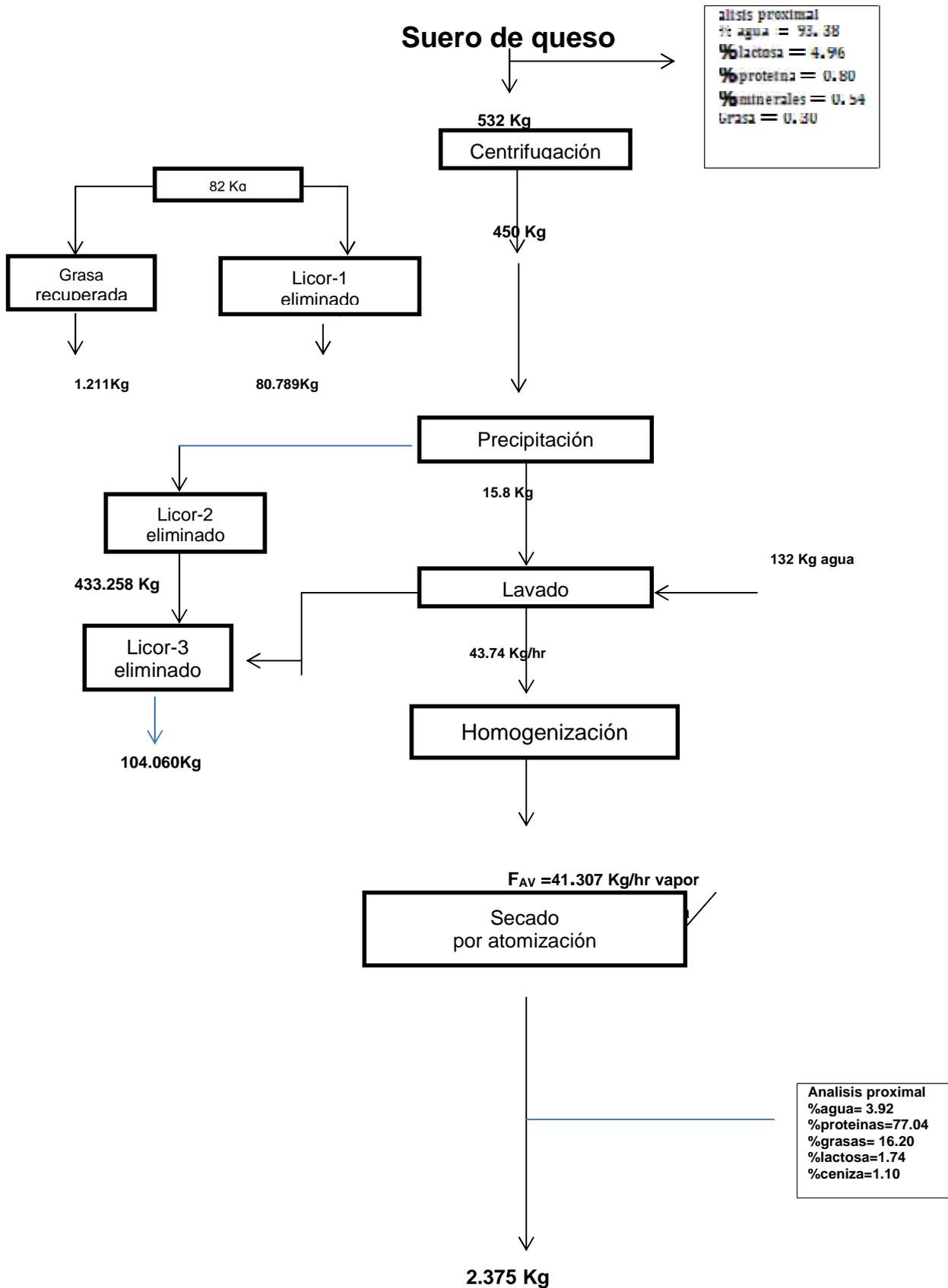


TABLA 3.5. COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LOS EFLUENTES

| | | Proteína | Lactos | Grasa | Mineral | Agua | Total |
|----------------------|------|----------|---------|-------|---------|---------|---------|
| Suero Alimentad | Kg % | 4.256 | 26.494 | 1.596 | 2.873 | 496.782 | 532.000 |
| | % | 0.80 | 4.98 | 0.30 | 0.54 | 93.38 | 100 |
| Licor Centrifugad | kg | 3.600 | 22.455 | 0.315 | 2.430 | 421.200 | 450.000 |
| | % | 0.80 | 4.99 | 0.07 | 0.54 | 93.60 | 100 |
| Licor -1 Eliminad | kg | 0.646 | 4.031 | 0.057 | 0.436 | 75.618 | 80.789 |
| | % | 0.80 | 4.99 | 0.07 | 0.54 | 93.60 | 100 |
| Suspensión | kg | 1.912 | 0.696 | 0.421 | 0.076 | 12.70 | 15.800 |
| | % | 12.10 | 4.41 | 2.66 | 0.48 | 80.36 | 100 |
| Licor - 2 Eliminad | kg | 0.751 | 21.679 | 0.108 | 2.353 | 408.37 | 433.258 |
| | % | 0.17 | 5.00 | 0.03 | 0.54 | 1 94.26 | 100 |
| Suspensión de Lavado | kg | 1.888 | 0.041 | 0.385 | 0.026 | 41.400 | 43.740 |
| | % | 4.32 | 0.09 | 0.88 | 0.06 | 94.65 | 100 |
| Licor - 3 Eliminad | kg | 0.024 | 0.690 | 0.036 | 0.075 | 103.25 | 104.06 |
| | % | 0.02 | 0.66 | 0.03 | 0.07 | 6 99.21 | 0 100 |
| Licor- Total | kg | 1.420 | 26.397 | 0.200 | 2,864 | 588.99 | 619.880 |
| | % | 0.23 | 4.26 | 0.03 | 0.46 | 8 95.02 | 100 |
| Product o Final | kg | 1.830 | 0.041 \ | 0.385 | 0.026 | 0.093 | 2.375 |
| | % | 77.04 | 1.74 | 16.20 | 1.10 | 3.92 | 100 |

CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los parámetros óptimos de secado de proteínas de suero de queso se muestran en la Tabla 4.1

TABLA 4.1

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Concentración | 5-6 % S.T. |
| Temperatura de Entrada del Aire | 180 °C |
| Temperatura de Salida del Aire | 75° - 80° C |
| Temperatura de Alimentación | 18°C |
| Velocidad de Alimentación | 12 gr/min |
| Velocidad de Atomización | 30,000 rpm |

La composición química final de la proteína concentrada de lactosuero a Nivel Laboratorio es la siguiente:

TABLA 4.2

| | |
|----------|-------|
| PROTEINA | 80.12 |
| LACTOSA | 1.82 |
| GRASA | 16.91 |
| HUMEDAD | 4.2 |
| CENIZAS | 1.15 |

Fuente: Datos Técnicos proporcionado por la compañía: AMPC, Inc., Ames, Iowa 50010 U.S.A., 2007

La etapa de centrifugado se realiza con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de grasa del lactosuero con el fin de obtener un producto que cumpla con los requerimientos para concentrados proteínicos en polvo (Tabla 9). Aunque a nivel de laboratorio la cantidad de materia grasa en el producto en polvo es del 16 %, se consigue descartar una cantidad apreciable respecto al contenido inicial pero no se alcanza el objetivo por no contar con el equipo

adecuado como una centrifuga con retención de grasa menor al 0.5 % en el lactosuero a tratar.

Es importante esta primera etapa del proceso ya que la estabilidad del producto final va a depender mucho de la presencia de grasa ya que la oxidación de los ácidos grasos presentes dan lugar a la rancidez oxidativa , lo que se manifiesta con la emanación de los malos olores, indicativo de deterioro.

4.1. SOBRE EL PROCESO DE PRECIPITACIÓN

En el proceso de precipitación el objetivo es precipitar la mayor cantidad de proteína contenida en el suero, y los factores que permiten la floculación de las partículas proteínicas es en primer lugar la temperatura, esto se explica debido a que el calor desnaturaliza las proteínas del suero y hace que precipiten la mayoría de estas. En nuestra experiencia la opalescencia del suero, indicativo de la precipitación se presenta entre 75 y 80° C. Por ser esta incompleta es que interviene la acidez, siendo el segundo factor ya que permite una óptima coagulación de las proteínas por lo que hace posible llegar al punto isoeléctrico estableciéndose un equilibrio de cargas en el interior de las moléculas. En este estado de igualdad de cargas, las moléculas proteínicas tienden a formar flóculos produciéndose la coagulación. El rango de temperatura óptimo encontrado es entre 90 y 95° C y el punto isoeléctrico fue alcanzado entre un pH de 4.5 y 5.

En las dos etapas anteriores (centrifugación y precipitación) los parámetros de operación están establecidos. En la etapa de lavado se busca eliminar el alto contenido de lactosa que es soluble en el licor que está presente en el concentrado proteínico. Luego de una serie de pruebas como se observa en los resultados de la Tabla 4.3. Se logra disminuir desde un 44.41 % hasta 1.82 % en base seca consiguiendo con ello incrementar el contenido de proteína en un 80.12 % calculado sobre materia seca.

Con esta etapa de lavado se consigue también disminuir la acidez de 27.5° a 2.5° Dornic.

TABLA 4.3. ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES A NIVEL LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DEL 80 %DE CONCENTRADO PROTEINICO REFERIDO EN BASE SECA.

| # Corridas | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Proteína (%) | 44.24 | 45.71 | 62.73 | 64.63 | 72.16 | 75.60 | 76.09 | 76.67 | 80.12 |
| Grasa (%) | 6.58 | 8.25 | 24.98 | 24.78 | 19.89 | 10.53 | 14.97 | 14.15 | 16.91 |
| Ceniza (%) | 4.77 | 4.28 | 1.85 | 1.76 | 1.71 | 0.05 | 1.06 | 0.53 | 1.15 |
| Lactosa (%) | 44.41 | 41.77 | 10.44 | 8.83 | 6.25 | 13.34 | 8.95 | 8.65 | 1.82 |

Fuente: Datos obtenidos de Resultados Experimentales

La proteína lavada se prensa en moldes queseros con la finalidad de disminuir el volumen de agua y principalmente eliminar la lactosa que aún queda en el licor contenido en el precipitado. Aunque esta operación podría ser obviada en un proceso a nivel comercial de secado por atomización, ya que sólo busca disminuir aún más el porcentaje de lactosa.

4.2. SOBRE EL SECADO POR ATOMIZACION

Antes del secado por atomización es indispensable una etapa de homogeneización para lograr una suspensión que tenga fluidez y capaz de romper las moléculas de grasas presentes. En las pruebas preliminares se trabaja con concentraciones de 7 y 8 % de sólidos totales con el objetivo de ver cual es la más adecuada para la alimentación al atomizador observándose dificultades tales como la obstrucción de sólidos en el disco distribuidor y un secado con alto porcentaje de humedad originando la presencia del producto en las paredes dentro de la cámara del atomizador. Luego se determina que la mezcla debe tener una concentración menor igual al 6 % , ya que por encima

de este valor en el secado por atomización se presentan los problemas antes mencionados.

4.3. ETAPA FINAL DEL PROCESO

La etapa final del proceso es el secado por atomización donde para obtener una humedad con los requerimientos comerciales para concentrados proteínicos se realiza estudios de la influencia de la humedad con la temperatura y de la humedad con la concentración. Luego de determinar las características físicas del producto seco se logra determinar los parámetros óptimos de temperatura y concentración.

Las concentraciones a las que se trabaja 4 , 5 y 6 % de sólidos totales en la alimentación al atomizador presentan humedades del 3.16, 3.30 y 4.20 % respectivamente observándose una relación directa con la humedad final (Figura 4.1.), esta tendencia se explica por las características especiales de la solución coloidal la cual presenta glóbulos grasos, lactosa, etc. Que dificultan el atomizado y con ello el secado.

Para estudiar la influencia de la concentración de sólidos se hace el análisis al producto final de la densidad aparente, tal como se puede ver en el Tabla 4.3., donde a 4 y 5 % de sólidos totales presenta una densidad aparente de 0.5423 y 0.4743 gr/cc respectivamente.

4.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PROTEÍNAS EN POLVO

Otra de las características físicas de la proteína en polvo en la influencia de la concentración es el tamaño de partícula. Su relación se observa en la Figura 4.2. y en las curvas de distribución de tamaño de partícula que son el resultado de las lecturas efectuadas en el microscopio electrónico.

FIGURA 4.1.

VARIACIÓN DE LA HUMEDAD CON LA CONCENTRACIÓN D.S.T.

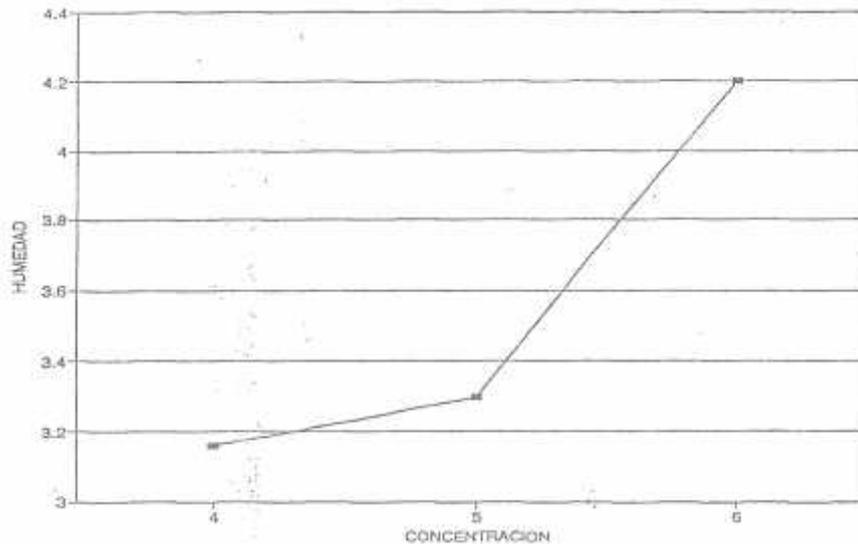
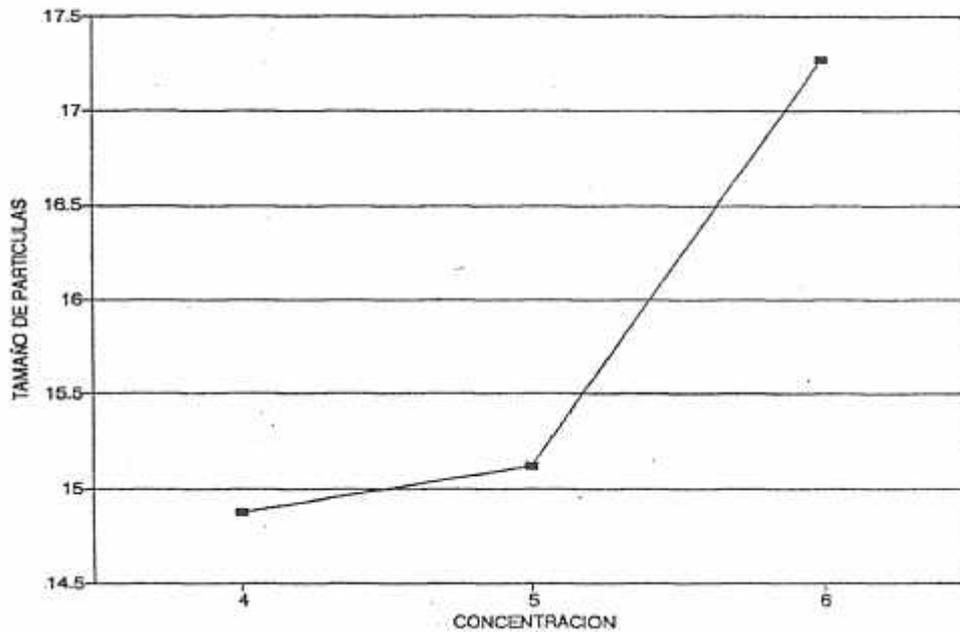


TABLA 4.3. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PROTEÍNA DEL SUERO DE QUESO EN POLVO A TEMPERATURA CONSTANTE (200 °C)

| Prueba | Concentración (% S.T.) | Humedad Final | Densidad Aparente (gr/cc) | Tamaño de Partícula (mieras) |
|--------|------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| P1 | 4 | 3.16 | 0.5423 | 14.88 |
| P2 | 5 | 3.30 | 0.4743 | 15.12 |
| P3 | 6 | 4.20 | | 17.27 |

Fuente: Datos obtenidos en base a Resultados Experimentales

FIGURA 4.2. VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA CON LA CONCENTRACION DE S.T.



En general las tres curvas muestran la misma tendencia y parecida distribución normal característica de los productos en polvo secados por atomización. Los resultados de estas tres mediciones se muestran en la Figura 4.3.

Después de analizar estas características físicas, se determina que las pruebas de secado a la concentración entre 5% y 6% de sólidos, teniendo un porcentaje de humedad final entre 3.3 y 4.20 % son muy próximos a los recomendados por la bibliografía. Por otra parte estos valores de concentración se convierten en limitantes, puesto que a mayores concentraciones resultaría difícil obtener resultados óptimos de secado. Es ventajoso trabajar con líquidos de gran contenido de sólidos ya que cada gotita se convertirá en una partícula de polvo, y de esta forma mayor será la producción de polvo en menor tiempo, pero en nuestro caso una mayor concentración de sólidos ocasiona dificultades en la atomización.

4.5. SOBRE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE ENTRADA DE AIRE.

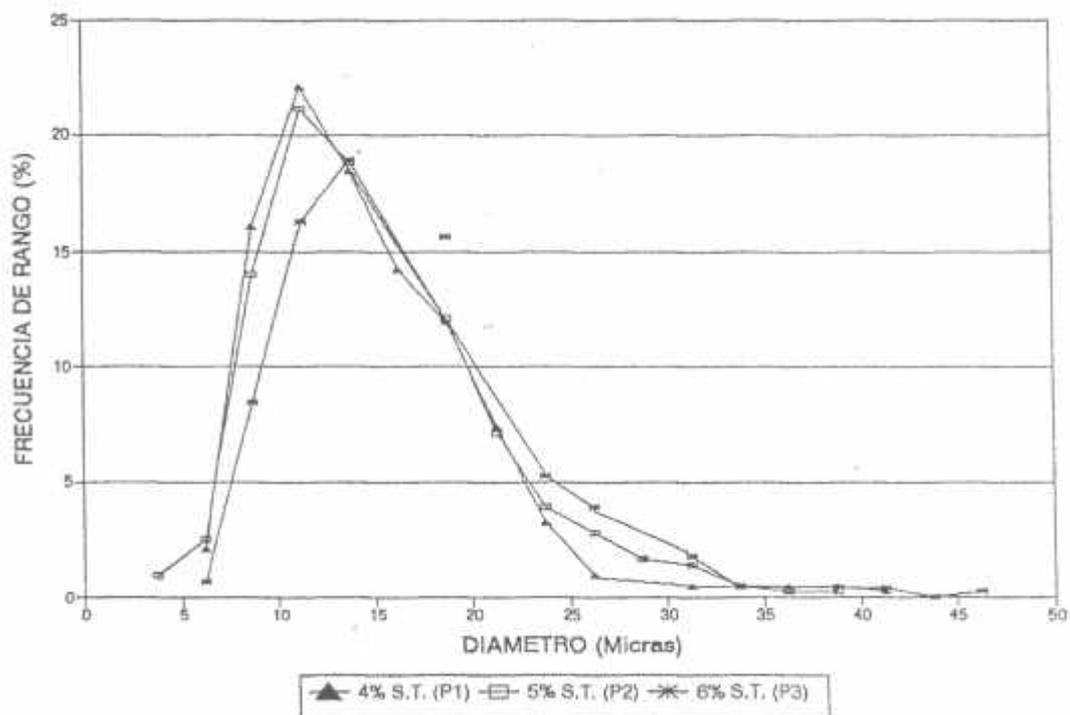
La influencia de la temperatura de entrada del aire en las características físicas de la proteína en polvo se observa en el Tabla 4.4. Se reporta los resultados de los análisis físicos de humedad, densidad aparente y tamaño de partícula con la finalidad de ver la influencia de la variación de la temperatura de entrada del aire de secado.

Se observa que el porcentaje de humedad final va disminuyendo a medida que aumenta la temperatura de entrada del aire; así para 160°C se obtuvo 5.65 % de humedad final (Ver Figura 4.4.), este valor obtenido es alto si se tiene en cuenta que el agua es uno de los factores del deterioro de los alimentos deshidratados bajo condiciones de almacenamiento.

-Para la temperatura de 180° C se obtuvo un porcentaje aceptable debido a que la gran mayoría de producto lácteos son secados hasta contenidos de humedad entre 3 y 6 % (Hedrick, T. y Covacevich.H. 1,979). Finalmente a la temperatura de 200° C se obtuvo un porcentaje de humedad muy cercano al límite permitido (3.16%), una humedad bastante baja.

En esta Tabla 4.4. También se observa que la densidad aparente muestra un aumento con la temperatura (Figura 4.5.), esto puede ser atribuido al menor tamaño de partícula que a diferencia de la densidad aparente este disminuye. Este comportamiento se puede explicar por la expansión de las partículas por efecto de las altas temperaturas de secado, la cual origina una alta velocidad de secado (evaporación) y a consecuencia de este fenómeno las partículas.

FIGURA 4.3. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA PROTEÍNA DE SUERO DE QUESO EN POLVO EN FUNCIÓN A LA CONCENTRACIÓN



TABLAR 4.4. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AIRE EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PROTEÍNA DEL SUERO DE QUESO EN POLVO A CONCENTRACIÓN CONSTANTE (5 %)

| Prueba | Temperatura de entrada (°C) | Humedad final (%) | Densidad Aparente (gr/cc) | Tamaño de Partícula (micras) |
|--------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|
| P4 | 160 | 5.64 | 0.5164 | 17.82 |
| P5 | 180 | 4.67 | 0.5294 | 16.34 |
| P6 | 200 | 3.16 | 0.5423 | 14.88 |

Fuente: Datos obtenidos en base a Resultados Experimentales

FIGURA 4.4.
VARIACIÓN DE HUMEDAD CON LA TEMPERATURA DE SECADO A
UNA CONCENTRACIÓN DE 5% ST

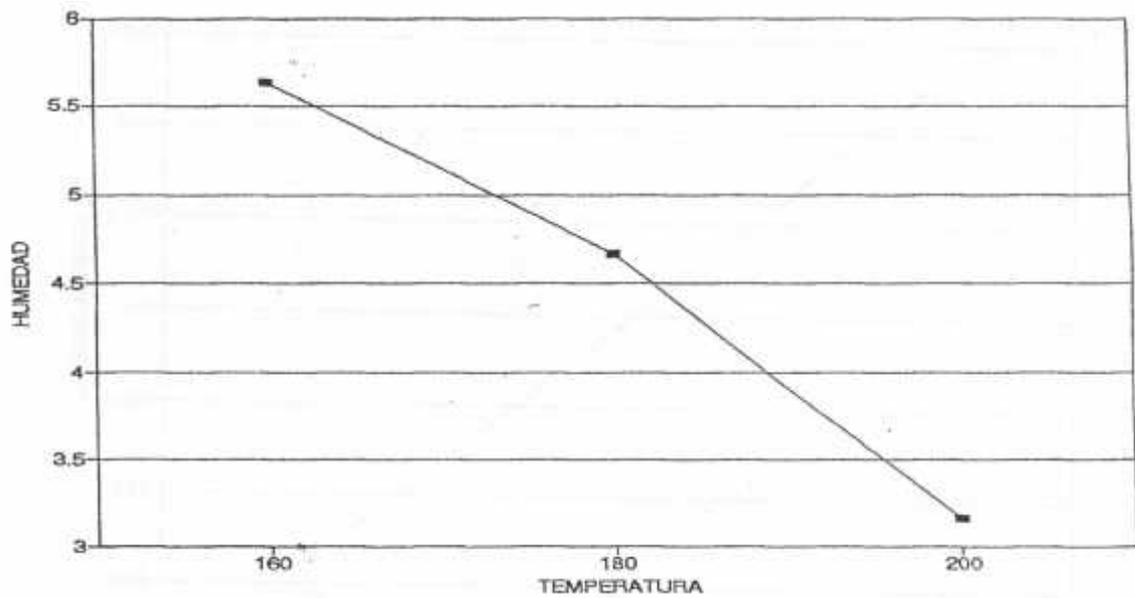
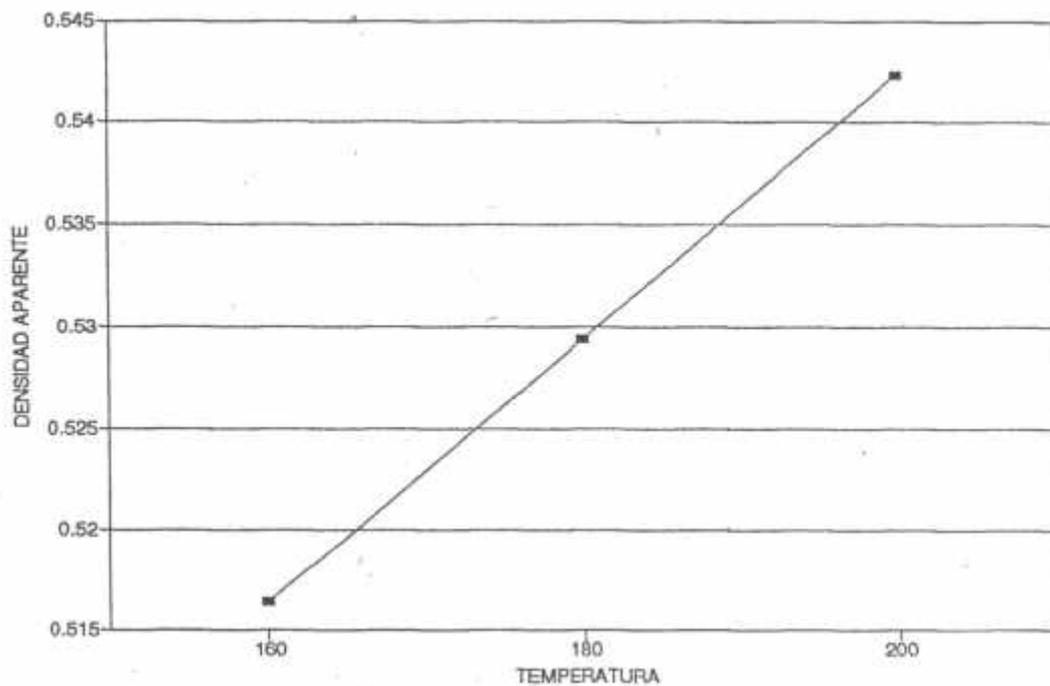


FIGURA 4.5
RELACIÓN DE LA TEMPERATURA DE SECADO VERSUS LA
DENSIDAD APARENTE



Se rompen o fracturan, resultando menor tamaño y como consecuencia de esto la densidad aparente será mayor.

4.6. RELACIÓN DE LA TEMPERATURA CON EL TAMAÑO DE PARTÍCULAS.

La relación de la temperatura con el tamaño de partícula se observa en la Figura 4.6 Donde el tamaño de partícula aumenta al disminuir la temperatura. La distribución del tamaño de las partículas para estas tres pruebas de secados se muestran tanto en la Figura 4.7. Y Figura 4.8 que corresponde a Laboratorio y Planta Piloto respectivamente. Mostrando mayor amplitud en la distribución el tamaño de las partículas secadas a la temperatura de 180° C; Los resultados del diámetro promedio de la partícula atomizada se reporta en el Apéndice D

Del análisis minucioso de estas características se determinó seleccionar como la mejor temperatura de entrada del aire la correspondiente a 180° C. También fue determinante en este caso el porcentaje de humedad final así como las otras características físicas los cuales se encuentra dentro de los límites aceptables.

4.7. SOBRE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL ATOMIZADOR.

La temperatura de salida del atomizador en las pruebas de análisis de variación de temperatura y concentración con respecto a la humedad se encontró en el rango de 75 a 85° C, con la finalidad de no exponer el producto atomizado a temperaturas mayores que ocasionaría su deterioro.

De las pruebas realizadas a Nivel de Planta Piloto se trabaja teniendo como referencia una concentración inicial de sólidos totales del 5 % aproximado (resultados obtenidos de Laboratorio) a las temperaturas de 160, 180 y 200 °C comprobándose en las características físicas (densidad y tamaño de partícula)

del producto final, el comportamiento de la humedad con la temperatura. (Ver Tabla 4.5.):

En cuanto al acápite referido a los efluentes, como se observa en la Tabla 3.5.vemos que el componente recuperable por encontrarse en mayor porcentaje corresponde a la lactosa el cual también es un subproducto muy empleado en la industria.

TABLA 4.5. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AIRE EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PROTEÍNA DEL SUERO DE QUESO EN POLVO A CONCENTRACIÓN CONSTANTE EN PLANTA PILOTO

| Prueba | Temperatura de entrada (°C) | Humedad final (%) | Densidad Aparente (gr/cc) | Tamaño de Partícula (mieras) |
|--------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|
| P7 | 160 | 6.70 | 0.3972 | 13.06 |
| P8 | 180 | 4.80 | 0.4718 | 12.19 |
| P9 | 200 | 3.52 | 0.4736 | 11.90 |

Fuente: Datos obtenidos en base a Resultados Experimentales

FIGURA 4.6 RELACION ENTRE LA TEMPERATURA DE SECADO Y EL DIÁMETRO DE PARTICULA

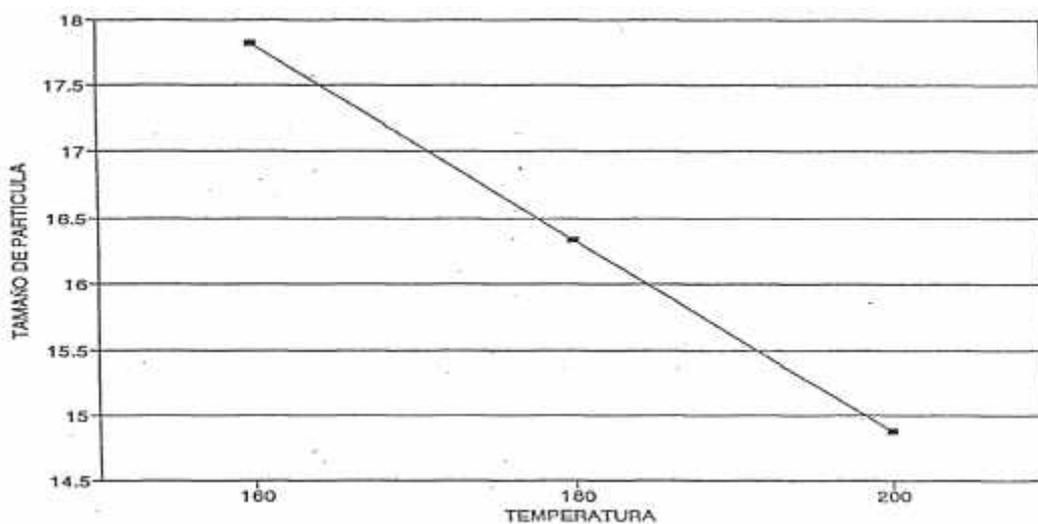


FIGURA 4.7. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE LA PROTEÍNAS DE SUERO DE QUESO EN POLVO EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA DE ENTRADA (LABORATORIO)

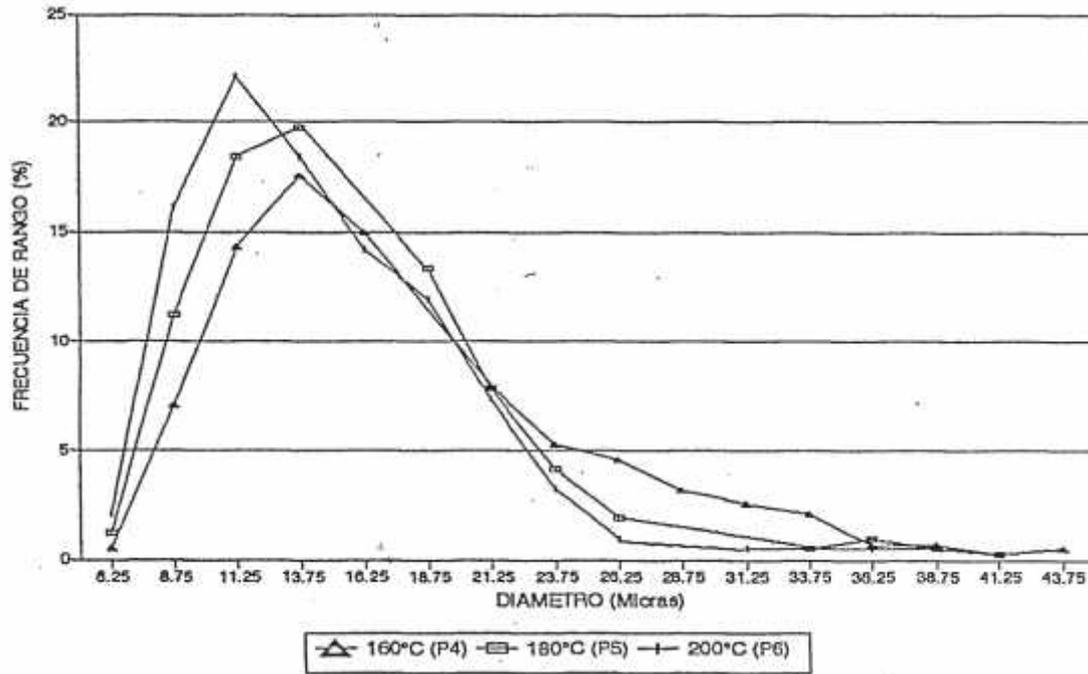
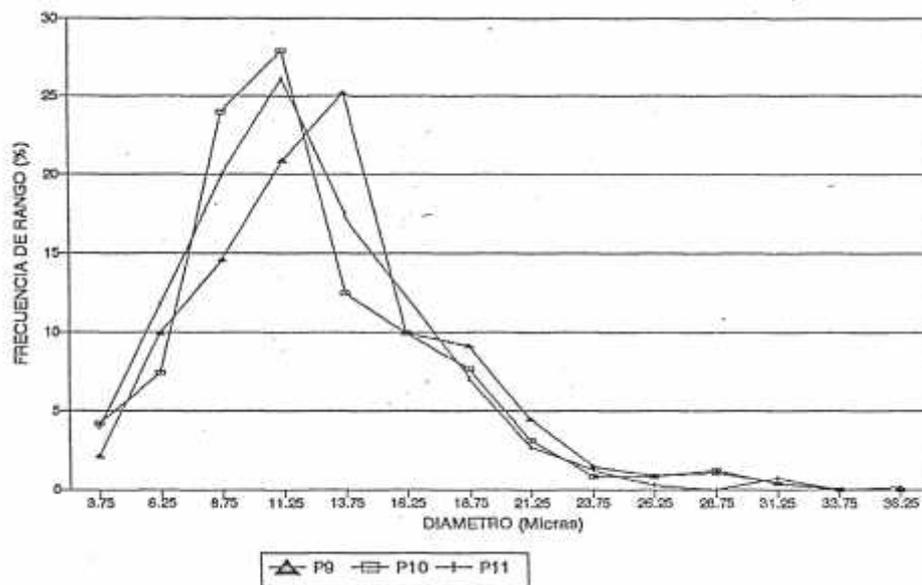


Figura 4.8. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE LA PROTEÍNA DE SUERO DE QUESO POLVO EN FUNCIÓN DE TEMPERATURA (PLANTA PILOTO)



CONCLUSIONES

A nivel de laboratorio, se consigue separar el 80.12 % de proteína del subproducto del queso fresco.

Al conseguir esta alta concentración (80.12 %), el rendimiento disminuye debido a la cantidad de líquido que se elimina en la etapa de lavado.

Con la centrifugación se logra disminuir un alto contenido de grasa, de lo contrario el producto final resulta tener una composición en grasa mayor o igual a la proteína concentrada.

- ❖ Para precipitar las proteínas contenidas en el suero se requiere controlar las variables de temperatura entre 90 - 95 °C y acidez a un pH entre 4.5 y 5.
- ❖ El punto isoeléctrico se alcanza a un pH de 4.5 a 5 , esto permite la floculación total de la proteína.
- ❖ En el lavado se busca eliminar la lactosa, al reducir la acidez a niveles mínimos (2.5° Dornic) , lográndose un bajo nivel de lactosa de 1.74 % en el producto final. Incrementando el concentrado proteínico.
- ❖ Se estableció en la alimentación, una concentración mínima operativa menor o igual al 6 % de sólidos totales, por encima de esto no presenta una fluidez apropiada para el secado.
- ❖ Se aplica el secado por atomización (exposición de temperaturas altas en fracción de segundos) para evitar la desnaturalización del producto.
- ❖ En el secado la concentración es directamente proporcional a la humedad final del producto explicado por las características especiales de la solución coloidal.
- ❖ A medida que aumenta la concentración de sólidos disminuye la densidad aparente.

- ❖ Se determinó que los rangos de concentración adecuados deberán estar entre 5 y 6 % de sólidos para dar una humedad final entre 3.3. % y 4.2 %, datos próximos a las especificaciones comerciales.
- ❖ El tamaño de partícula media, se ve incrementada con el aumento de la concentración de sólidos en la alimentación.
- ❖ La humedad disminuye con el aumento de temperatura del aire de entrada.
- ❖ A una mayor temperatura se obtiene una partícula con menor porosidad dando lugar a un producto con mayor densidad aparente.
- ❖ De las pruebas realizadas se observa que la temperatura óptima del aire de entrada al secadero atomizador es de 180° C. mientras que la temperatura de salida oscila entre 75° y 80° C.
- ❖ Este proceso de recuperación de proteínas es un aporte al tratamiento de residuales al disminuir considerablemente los componentes contaminantes que se eliminan por el desagüe.
- ❖ Dentro del proceso de recuperación de proteínas, la grasa contenida en el suero logra recuperarse mediante una centrifugación en un 63.35 % con respecto a la grasa inicial consiguiéndose que los efluentes eliminados tengan un bajo contenido de grasa.
- ❖ La lactosa, es el otro componente residual que amerita ser recuperado por su alta concentración en los efluentes, lográndose mediante el proceso descrito en los resultados.
- ❖ El valor del pH del efluente final, se encuentra en el rango del 5.5 al 6.5 que está muy próximo a los rangos permisibles.

RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda implementar otros métodos más eficientes para eliminar el contenido de grasa en el suero, para llegar a una concentración final como máximo del 6 % según normas de importación.
- ❖ A nivel piloto existe un separador centrífugo utilizado para eliminar grasa que tiene un límite de máxima separación del 0,5 %. Se recomendaría usar este mismo equipo pero con un índice de separación menor de este valor debido a que la materia prima contiene alrededor del 0,5 % de grasa.
- ❖ A nivel industrial el proceso de lavado recomendado sería utilizar un sedimentador que sea capaz de llegar a la acidez requerida (2,5 ° Domic) y el sedimentado final tenga una concentración entre 5 y 6 % de sólidos totales siendo necesario homogeneizarlo para luego ser alimentado al secador atomizador.
- ❖ En la operación de secado por atomización es recomendable trabajar con una concentración de sólidos menor igual al 6 %.
- ❖ En el secador equipo Niro - Atomizer se recomienda una temperatura de operación entre 165^o -170° C para que la humedad final no sea mayor al 5 % requerido.
- ❖ En la etapa de atomización es recomendable antes de iniciar el proceso realizar una limpieza minuciosa al equipo, especialmente en el distribuidor y en la cámara de secado por lo que la muestra final puede presentar características diferentes como en el color y aroma.
- ❖ En la acidificación con el ácido cítrico es recomendable la adición en solución porque caso contrario en su estado puro la distribución no sería

homogénea y su control sería muy dificultoso. Luego la concentración a emplear recomendable sería aquella en la cual el pH sea fácil de controlar.

- ❖ La recolección del polvo debe realizar en un ambiente donde no haya corrientes de aire para evitar la contaminación del mismo así como el incremento de humedad por ser este producto higroscópico. El empaqueo del producto en polvo debe realizarse a temperatura ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

AMIOT, J. "Ciencia y Tecnología de la Leche". Editorial Acriba, SA Zaragoza, 1991.

A.O.A.C. "Oficial Methods of Analysis" 13 avaEdición. Association of Official Analytical Chemistry, Washington D.C. 1980.

ANUARIO ESTADÍSTICO. Superintendencia Nacional de Aduanas. Tomo 1,1993.

BRENNAN, J.G. "Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza, 1980.

BELITZ, H.D. Y GROSCH, W. "Química de los Alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza, 1988.

CHEFTEL, JEAN CLAUDE. "Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos". Editorial Acribia, Tomo I. Zaragoza, 1983.

CISNEROS, L. "Secado por Rociada de Aceites Esenciales de Hierba Luisa Microencapsulada". Tesis U.N.A., La Molina. Lima, 1983.

CHARLEY, HELEN. "Tecnología de los Alimentos Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos". Editorial Limusa, S.A., México, 1991.

ESAIN ESCOBAR, J. "Fabricación de Productos Lácteos" Editorial Acribia Zaragoza, 1980.

EARLE, R.L. "Ingeniería de los Alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza, España ,1979.

"Elaboración de Productos Lácteos" Manuales para Educación Agropecuaria. Editorial Trillas, 1988. Z

FEBRES, C. "Ensayo de Secado por Rociada de Jugo de Mamey". Tesis U.N.A., La Molina. Lima, 1966.

GUEVARA PÉREZ, AMÉRICO. "Obtención de Chirimoya en Polvo por Atomización". Tesis U.N.A, La Molina. Lima, 1989.

KNEULE, FRIEDRICH. "El Secado" Tomo I. Editorial Uoma, S.A. Bilbao.1976.

LORA DE S.P., MIGUEL. "Industrias Lácteas-Quesos "Departamento Tecnológico de Alimentos y Productos Agropecuarios. (TAPA) U.N.A., La Molina. Lima, 1972

LUQUET, F.M. "Leche y Productos Lácteos" Vol 2. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, 1993.

MASTER, K. "An Introduction to Atomization Techniques in Spray Drying" Editorial Leonor Hill Books,1970. U S A .

MATOS RAMÍREZ, ANA MARÍA. "Obtención de la Fracción Celular de Sangre de Bovino, Secado por Atomización y Estudio de sus Propiedades". U.N.A. La Molina Lima.

PEARSON. "Análisis Químico de los Alimentos".

PEPPER, D. "La Concentración del Suero". Revista Industrias Lácteas. Vol. 30 N° 4. 1981.

PEPPER MACEDO, CIRO. "Secado de Café por Atomización" Tesis U.N.M.S.M. Lima, 1968.

PERRY H. JHON. "Manual del Ingeniero Químico" Editorial UTEHA. México, 1996.

POLO ROMERO, Justo Humberto. "Recuperación de Proteína del Suero de Queso por Precipitación". Tesis U.N.A. La Molina Lima, 2007

PORTER, J.M.G. "Leche y Productos Lácteos" Editorial Acribia, Zaragoza, 1981.

POTTER, NORMAN N. "Alimentos - Industria y Comercio".

PUBLICACIONES SERIÉ: "Ciencia y Tecnología de los Alimentos". Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad de Lima

RANKEN, M.D. "Manual de Industria de los Alimentos". Zaragoza, 1993. Editorial Acribia.

REAL UGARTE, GUILLERMO. "Estudio Tecnológico del Secado Por Atomización (Spray Drying) y sus Aplicaciones en la Industria de Productos Alimenticios y Químicos". Tesis U.N.M.S.M. Lima, 1965.

REVILLA, AURELIO. "Tecnología de la Leche" Agenda para el Desarrollo Internacional. México, 1969.

SPREER, EDGAR. "Lactología Industrial" Editorial Acribia SA. Zaragoza, 1981.

TREYBAL, ROBERT E. "Operaciones de Transferencia de Masa" Editorial McGraw-Hill. 1981

VENTURA GUEVARA, LUIS LEÓNIDAS. "Secado por Atomización de una Suspensión de Quinoa" Tesis U.N.A. La Molina, Lima, 1989.

VEISSEYRE, ROGER. "Lactología Técnica" Editorial Acribia. Zaragoza, 1988.

APÉNDICE A

| MICROORGANISMOS | Recuento ufc/gr |
|------------------------------------|-----------------|
| Coliformes totales(UFC/g) 100 | 0.024 |
| Staphylococcus aureus (UFC/g) 1000 | 0.530 |
| Hongos y levaduras (UFC/g) 500 | 2.580 |
| Salmonella en 25 g | 0.000 |
| Vibrio cholerae en 50 g | 0.000 |
| Listeria monocytogenes en 25 g | 0.000 |

APENDICE B

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL CALOR ESPECÍFICO

Procedimiento

- Pesar una cantidad determinada de la muestra cuyo calor específico se desea determinar, (M_s).
- Calentar la muestra hasta una temperatura conocida, (T_s).
- Pesar una cantidad determinada de agua (M_w), y medir su temperatura (T^A).
- Introducir la muestra calentada a la temperatura T_s en un termo, y verter luego al agua, tapar rápidamente, agitar y tomar la temperatura (T_2), cuando esta se haga constante.

Si no hay pérdidas de calor durante el experimento el calor cedido por la muestra al enfriarse de T_s a T_2 ha de ser igual al calor ganado por el agua, por consiguiente:

$$M_s C_s (T_2 - T_s) = M_w C_p w (T_2 - T_1)$$

De donde se puede calcular C_s pues se conocen los otros términos de la ecuación.

Cálculo del valor experimental del Calor Específico

Muestra: Suero de queso fresco (SQ) Datos:

$$\begin{aligned}
 M(\text{SQ}) &= 31 \text{ Ogr} & M(\text{Agua}) &= 430\text{gr} \\
 T(\text{SQ}) &= 75^\circ\text{C} & T(\text{Agua}) &= 21^\circ\text{C} \\
 C_p(\text{SQ}) &=? & C_p(\text{Agua}) &= 0,9993 \text{ cal/gr }^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 42^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De donde:

$$C_p(\text{SQ}) = 430 \text{ g} \times 0,9993 \text{ cal/g }^\circ\text{C} \times (42 - 21)^\circ\text{C} / (310 \text{ g} \times (75 - 42)^\circ\text{C})$$

Luego:

$$C_p(\text{SQ}) = 0,8821 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

APÉNDICE C

SUPERFICIES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Equipo Marmita

La forma de la marmita es la de una superficie cilíndrica con una base de 0.66 m. de diámetro.

1. Para el cálculo del calor perdido por evaporación y radiación tenemos que conocer el área expuesta del líquido a evaporación, siendo el área del círculo

$$(A1). A1 = A_1 = \pi R^2$$

$$A1 = \pi (0.33)^2 \text{ m}^2$$

$$A1 = 0.3421 \text{ m}.$$

2. Para el cálculo del calor perdido por las paredes del equipo necesitamos el área del cilindro (A2).

$$3. A2 = \text{Área Lateral} + \text{Área Transversal (A1)}$$

$$\text{Área Lateral} = \pi D h \text{ donde: } h = \frac{4V}{\pi D^2}$$

donde:

h = Altura ocupada por el suero

V = Volumen de suero utilizado cuya densidad es de 1.025 g/cc.

$$\text{Reemplazando: } h = \frac{4(150)}{\pi(0.66)(1.025) \times 100} = 0.42277$$

Entonces:

$$\text{Área Lateral} = \pi (0.66) (0.42277)$$

$$\text{Área Lateral} = 0.8868 \text{ m}^2$$

Finalmente:

$$A_2 = 0.3421 \text{ m}^2 + 0.8868 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 1.2289 \text{ m}^2$$

APÉNDICE D

METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA UTILIZANDO UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE MICROPROYECCION

Procedimiento:

1. La muestra a analizar se coloca sobre una luna portaobjetos utilizando glicerina como medio para dispersar las partículas presentes en la muestra.
2. Se lleva al microscopio electrónico y se calibra hasta lograr encontrar una visualización adecuada para la medición de las partículas.
3. Esta medición se realiza sobre una pantalla amplificadora empleando para ello una regla.
4. La recolección del diámetro de partícula a medir se realiza mediante movimientos del lente. Para ello se toma un universo de 10 movimientos horizontales y 10 verticales, recolectándose mediante este muestreo entre 400 y 500 diámetros de partículas y paralelamente seleccionando de acuerdo al diámetro encontrado en un intervalo de clase.
5. Una vez recopilado los datos, se procede a determinar el diámetro promedio como se muestra en el Apéndice D.

APÉNDICE E

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA CORRESPONDIENTE A LA PRUEBA P1

| <i>Intervalo de clase</i> | <i>Marca de clase (x)</i> | $\bar{x} = x - A$ | <i>Frecuencia (f)</i> | $f \bar{x}$ |
|---------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|
| 5-7.5 | 6.25 | -5.0 | 9 | -45 |
| 7.5-10.0 | 8.75 | -2.5 | 70 | -175 |
| 10-12.5 | 11.25 (A) | 0' | 96 | 0 |
| 12.5-15 | 13.75 | 2.5 | 80 | 200 |
| 15-17.5 | 16.25 | 5.0 | 62 | 310 |
| 17.5-20 | 18.75 | 7.5 | 52 | 390 |
| 20-22.5 | 21.25 | 10.0 | 32 | 320 |
| 22.5-25 | 23.75 | 12.5 | 14 | 175 |
| 25-27.5 | 26.25 | 15.0 | 4 | 60 |
| 27.5 - 30 | 28.75 | 17.5 | 7 | 122.5 |
| 30 - 32.5 | 31.25 | 20.0 | 2 | 40 |
| 32.5-35 | 33.75 | 22.5 | 2 | 45 |
| 35 - 37.5 | 35.25 | 25.0 | 2 | 50 |
| 37.5-40 | 38.75 | 27.5 | 2 | 55 |
| 40 - 42.5 | 41.25 | 30.0 | 1 | 30 |
| | | | 435 | 1577.5 |

Luego el tamaño de partícula promedio es:

$$X = 11.25 + (1577.5/435)$$

$$\Rightarrow X=14.88 \text{ 435}$$

TABLA A-1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA
CORRESPONDIENTE A LA PRUEBA P2

| Intervalo de clase | Marca de clase (x) | $\delta = x - A$ | Frecuencia (f) | $f \delta$ |
|--------------------|--------------------|------------------|----------------|------------|
| 2.5-5 | 3.75 | -7.5 | 4 | -30 |
| 5-7.5 | 6.25 | -5.0 | 11 | -55 |
| 7.5-10.0 | 8.75 | -2.5 | 61 | -152.5 |
| 10.0-12.5 | 11.25 (A) | 0 | 92 | 0 |
| 12.5-15 | 13.75 | 2.5 | 82 | 205 |
| 15-17.5 | 16.25 | 5.0 | 56 | 280 |
| 17.5-20 | 18.75 | 7.5 | 53 | 397.5 |
| 20 - 22.5 | 21.25 | 10.0 | 31 | 310 |
| 22.5-25 | 23.75 | 12.5 | 17 | 212.5 |
| 25-27.5 | 26.25 | 15.0 | 12 | 180 |
| 27.5 - 30 | 28.75 | 17.5 | 7 | 122.5 |
| 30 - 32.5 | 31.25 | 20.0 | 6 | 45 |
| 32.5 - 35 | 33.75 | 22.5 | 2 | 45 |
| 35-37.5 | 36.25 | 25.0 | 1 | 25 |
| 37.5 - 40 | 38.75 | 27.5 | 1 | 27.5 |
| | | | 436 | 1687.5 |

Luego el tamaño de partícula promedio es:

$$X = 11.25 + \frac{1687.5}{436} \quad X = 15.12$$

436

TABLA A-2: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA
CORRESPONDIENTE A LA PRUEBA P3

| Intervalo de clase | Marca de clase (x) | $\delta = x - A$ | Frecuencia (f) | $f \delta$ |
|--------------------|--------------------|------------------|----------------|------------|
| 5-7.5 | 6.25 | -7.50 | 3 | -22.5 |
| 7.5-10.0 | 8.75 | -5.0 | 39 | -19.5 |
| 10-12.5 | 11.25 | 2.5 | 75 | -187.5 |
| 12.5-15 | 13.75 (A) | 0 | 87 | 0.0 |
| 15-17.5 | 16.25 | 2.5 | 52 | 130 |
| 17.5-20 | 18.75 | 5.0 | 72 | 360 |
| 20 - 22.5 | 21.25 | 7.5 | 54 | 405 |
| 22.5-25 | 23.75 | 10.0 | 24 | 240 |
| 25-27.5 | 26.25 | 12.5 | 18 | 225 |
| 27.5 - 30 | 28.75 | 15.0 | 17 | 255 |
| 30 - 32.5 | 31.25 | 17.5 | 8 | 140 |
| 32.5 - 35 | 33.75 | 20.0 | 2 | 40 |
| 35 - 37.5 | 36.25 | 22.5 | 4 | 90 |
| 37.5-40 | 38.75 | 25.0 | 2 | 50 |
| 40 - 42.5 | 41.25 | 27.5 | 2 | 55 |
| 42.5-45 | 43.75 | 30.0 | 0 | 0 |
| 45 - 47.5 | 46.25 | 32.50 | 1 | 32.5 |
| | | | 460 | 1617.5 |

Luego el tamaño de partícula promedio es:

$$X = \frac{13.75 + (617.5)}{460} \quad X = 17.27$$

460

TABLA A-3 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA
CORRESPONDIENTE A LA PRUEBA P4

| Intervalo de clase | Marca de clase (x) | $d = x - A$ | Frecuencia (f) | $f \cdot d$ |
|--------------------|--------------------|-------------|-------------------|-------------|
| 5-7.5 | 6.25 | -12.5 | 2 | -25 |
| 7.5-10.0 | 8.75 | -10.0 | 31 | -310 |
| 10-12.5 | 11.25 | -7.5 | 63 | -472 |
| 12.5-15 | 13.75 | -5.0 | 77 | -385 |
| 15-17.5 | 16.25 | -2.5 | 66 | -165 |
| 17.5-20 | 18.75 (A) | 0 | 80 | 0 |
| 20 - 22.5 | 21.25 | 2.5 | 35 | 87.5 |
| 22.5-25 | 23.75 | 5.0 | 23 | 115 |
| 25-27.5 | 26.25 | 7.5 | 20 | 150 |
| 27.5 - 30 | 28.75 | 10.0 | 14 | 140 |
| 30 - 32.5 | 31.25 | 12.5 | 11 | 137.5 |
| 32.5 - 35 | 33.75 | 15.0 | 9 | 135 |
| 35 - 37.5 | 36.25 | 17.5 | 3 | 52.5 |
| 37.5 - 40 | 38.75 | 20.0 | 3 | 60 |
| 40 - 42.5 | 41.25 | 22.5 | 1 | 22.5 |
| 42.5 - 45 | 43.75 | 25.0 | 2 | 50 |
| | | | N = 440 | -409 |

Luego el tamaño de partícula promedio es:

$$x = 18.75 + (-409/440)$$

$$x = 17.82$$

TABLA A-4 DETERMINACIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA
CORRESPONDIENTE A LA PRUEBA P5

| Intervalo de clase | Marca de clase (x) | $d = x - A$ | Frecuencia (f) | $f \cdot d$ |
|--------------------|--------------------|-------------|----------------|-------------|
| 5-7.5 | 6.25 | -7.5 | 5 | -37.5 |
| 7.5-10.0 | 8.75 | -5.0 | 49 | -245 |
| 10-12.5 | 11.25 | -2.5 | 80 | -200 |
| 12.5-15.0 | 13.75(A) | 0 | 86 | 0 |
| 15.0-17.5 | 16.25 | 2.5 " | 62 | 155 |
| 17.5-20 | 18.75 | 5.0 | 58 | 290 |
| 20 - 22.5 | 21.25 | 7.5 | 34 | 255 |
| 22.5-25 | 23.75 | 10.0 | 18 | 180 |
| 25 - 27.5 | 26.25 | 12.5 | 8 | 100 |
| 27.5 - 30 | 28.75 | 15.0 | 14 | 210 |
| 30 - 32.5 | 31.25 | 17.5 | 12 | 210 |
| 32.5 - 35 | 33.75 | 20.0 | 2 | 40 |
| 35 - 37.5 | 36.25 | 22.5 | 4 | 90 |
| 37.5-40 | 38.75 | 25.0 | 2 | 50 |
| 40 - 42.5 | 41.25 | 27.0 | 1 | 27.5 |
| | | | 435 | 1125 |

Luego el tamaño de partícula promedio es:

$$X = 13.75 + (1125/435)=$$

$$X = 16.34$$

TABLA A-5 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA
CORRESPONDIENTE A LA PRUEBA P6

| Intervalo de clase | Marca de clase (x) | $\delta = x - A$ | Frecuencia (f) | $f \delta$ |
|--------------------|--------------------|------------------|----------------|------------|
| 5-7.5 | 6.25 | -5 | 9 | -45 |
| 7.5-10.0 | 8.75 | -2.5 | 70 | -175 |
| 10-12.5 | 11.25 (A) | 0 | 96 | 0 |
| 12.5-15 | 13.75 | 2.5 | 80 | 200 |
| 15-17.5 | 16.25 | 5 | 62 | 310 |
| 17.5-20 | 18.75 | 7.5 | 52 | 390 |
| 20 - 22.5 | 21.25 | 10.0 | 32 | 320 |
| 22.5 - 25 | 23.75 | 12.5 | 14 | 175 |
| 25-27.5 | 26.25 | 15.0 | 4 | 60 |
| 27.5 - 30 | 28.75 | 17.5 | 7 | 122.5 |
| 30 - 32.5 | 31.25 | 20 | 2 | 40 |
| 32.5 - 35 | 33.75 | 22.5 | 2 | 45 |
| 35-37.5 | 36.25 | 25 | 2 | 50 |
| 37.5 - 40 | 38.75 | 27.5 | 2 | 55 |
| 40 - 42.5 | 41.25 | 30 | 1 | 30 |
| | | | 435 | 1577.5 |

Luego el tamaño de partícula es:

$$X = 11.25 + (1577.5/435)$$

$$X = 14.88$$