



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de Exámenes Profesionales

**“Proceso de Manufactura de una
Leche Reconstituida Enriquecida
con Hierro Aminoácido Quelado”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

ADOLFO RAFAEL LÓPEZ SANTIAGO

ASESOR: M.C. RICARDO PARAMONT HERNÁNDEZ GARCÍA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX. 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Proceso de Manufactura de una Leche Reconstituida Enriquecida
con Hierro Aminoácido Quelado"

que presenta el pasante Adolfo Rafael López Santiago
con número de cuenta: 8813386-3 para obtener el título de :
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de Abril de 2004

PRESIDENTE	<u>MC. Carlos Alberto Morales Rojas</u>	
VOCAL	<u>IQ. Margarita Castillo Agreda</u>	
SECRETARIO	<u>MC. Ricardo Paramont Hernández García</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Q. Rafael Decelis Contreras</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>IQ. Ariel Bautista Salgado</u>	

Dedico éste trabajo y esfuerzo realizado a una mujer excepcional, porque desde que nos conocemos siempre me apoyado y ayudado incondicionalmente en mis grandes locuras de la vida; y a pesar de las dificultades, nunca se ha rendido y perdido la fe; por todo eso y mucho más quiero darte las gracias y decirte que te amo.

*A mi esposa
Griselda Linares Fernández*

Porque no existe otro reto en la vida que se compare con tu existencia, le agradezco a ésta por darme la oportunidad de dar mi mayor esfuerzo en todo lo que hemos de hacer juntos.

*A mi hijo
Diego López Linares "DL²"*

A la memoria de mi madre que siempre estuvo conmigo hasta el último momento de su vida dándome todo su amor y comprensión.

Te quiero y extraño mamá

Porque entre todas las personas que he conocido no hay ninguno que me haya enseñado tanto con su ejemplo, sacrificio y dedicación a la familia y al trabajo; y a pesar de los arrebatos de la vida, su fortaleza e inteligencia así como su humor y gusto por la vida no han desmerecido, y ahora que la vida me ha puesto en su lugar lo entiendo y quiero más; Gracias papá.

*A mí papá
A. Elpidio López R.*

Porque el saber que somos parte de un mismo núcleo, y que la vida nos ha enseñado muchas cosas juntos, agradezco todo su apoyo y comprensión para superar mis errores, y porque sin ustedes mi vida no hubiera sido la misma, los quiero.

A mi hermana y hermano

Marcela J. López S.

Julio A. López S.

Agradezco todo el apoyo a la:

- ~ Universidad Nacional Autónoma de México.*
- ~ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.*
- ~ Profesores y personal de la FESC que compartieron su conocimiento y experiencia con la generación IQ19.*
- ~ Ya todos mis compañeros de la generación IQ19 por su amistad.*
- ~ Y muy en especial le doy las gracias a mi Profesor Ricardo Paramon Hernández García por toda su ayuda en la realización de éste trabajo de tesis.*

Porque nosotros lo decidimos así y porque es nuestro deseo, nuestra amistad será por siempre; Gracias.

A mis amigos.

Jorge Sierra, Jorge Trejo,

y a los hermanos Marco y Ernesto Centeno

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	6
3. DESARROLLO DE LA FÓRMULA	6
3.1. ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO TERMINADO	7
3.2. MATERIAS PRIMAS	10
3.2.1. Agua para rehidratación de leche en polvo (RLP)	10
3.2.1.1. Proceso de obtención de agua para RLP	10
3.2.1.2. Especificaciones de agua para RLP	13
3.2.2. Leche descremada en polvo (LDP)	14
3.2.2.1. Proceso de elaboración de la leche descremada en polvo	14
3.2.2.2. Índice de nitrógeno de proteína de suero (WPNI)	16
3.2.2.3. Especificaciones de la leche descremada en polvo	17
3.2.3. Sólidos de mantequilla en polvo	18
3.2.3.1. Proceso de elaboración de sólidos de mantequilla en polvo	18
3.2.3.2. Especificaciones de los sólidos de mantequilla en polvo	19
3.2.4. Suero dulce de leche en polvo al 12%	19
3.2.4.1. Proceso de elaboración de suero dulce en polvo	20
3.2.4.2. Especificaciones de suero dulce en polvo	21
3.2.5. Grasa butírica anhidra	21
3.2.5.1. Proceso de elaboración de la grasa butírica anhidra	22
3.2.5.2. Valor de Peróxido	23
3.2.5.3. Empaque	24
3.2.5.4. Especificaciones de la grasa butírica anhidra	24
3.2.6. Caseinato de sodio	25
3.2.6.1. Proceso de elaboración del caseinato de sodio	25
3.2.6.2. Especificaciones del caseinato de sodio	27
3.2.7. Mono y diglicéridos de los ácidos grasos	27
3.2.7.1. Proceso de elaboración del mono y diglicérido	28
3.2.7.2. Especificaciones del mono y diglicérido	29
3.2.8. Hierro aminoácido quelado	30
3.2.8.1. Estructura molecular	31
3.2.8.2. Especificaciones de hierro aminoácido quelado	31
3.2.8.3. Biodisponibilidad del hierro aminoácido quelado	32
3.2.8.4. Determinación de hierro en la fórmula	33

3.2.9. Vitaminas A y D ₃	33
3.2.9.1. Importancia de la vitamina A dentro del metabolismo humano	33
3.2.9.2. Importancia de la vitamina D ₃ dentro del metabolismo humano	34
3.2.9.3. Determinación de vitaminas A y D ₃	34
3.2.9.4. Especificaciones de vitamina A y D ₃	35
3.3. FÓRMULA	36
3.3.1. Balance fisicoquímico	36
3.3.2. Costo	40
4. DESARROLLO DEL PROCESO	42
4.1. DIAGRAMAS	46
4.1.1. Diagrama de bloques	46
4.1.2. Diagramas de flujo	49
4.2. ETAPAS DEL PROCESO	54
4.2.1. Generación de agua para rehidratar leche en polvo	54
4.2.2. Hidratación de ingredientes	55
4.2.3. Pasteurización y estandarización	58
4.2.4. Tratamiento UHT (<i>Ultra High Temperature</i>)	62
4.2.4.1. Eficiencia de esterilización	63
4.2.4.2. Cambios químicos y bacteriológicos en tratamiento UHT	64
4.2.4.3. Aspecto nutrimentales	65
4.2.4.4. Proceso	66
4.2.5. Tanque aséptico – envasado aséptico	68
5. CONCLUSIONES	71
6. ANEXOS	72
6.1. Determinación del índice crioscópico	72
6.2. Determinación de caseína en la leche	75
6.3. Determinación de acidez	77
6.4. Determinación de Sólidos no Grasos	78
6.5. Determinación de proteínas por micro Kjeldahl	79
6.6. Determinación de la densidad @ 15°C	81
6.7. Determinación de grasa	83
6.8. Determinación reductores directos (lactosa)	87
6.9. Determinación de bacterias aerobias en placa	89
7. BIBLIOGRAFÍA	96

1. INTRODUCCIÓN

En el período de octubre de 1998 a marzo de 1999 se llevó a cabo la segunda encuesta nacional probabilista sobre nutrición y alimentación en México¹, la que permitió conocer por segunda vez la situación nutricional tanto en el ámbito nacional de localidades urbanas y rurales como en cuatro regiones del país². Dado que la nutrición es uno de los principales determinantes del proceso salud-enfermedad y que la desnutrición afecta el desarrollo del ser humano, el conocimiento de la situación nutricional de la población es de gran importancia para el diseño de políticas sociales y de programas de alimentación y nutrición.

Los resultados indican que la desnutrición continúa siendo un importante problema de salud pública en México, alrededor del 17.8% de la población menor de cinco años tiene desmedro, es decir presenta un retardo severo en estatura, resultado de una inadecuada alimentación y salud. El 27.2% presenta anemia, es decir, más de un niño de cada cuatro niños menores de cinco años y casi la mitad (48.9%) de los niños entre 12 y 23 meses tienen anemia.

En el grupo de niños de 5 a 11 años de edad, los resultados indican que existen, tanto problemas de mala nutrición por deficiencia, como por exceso. Una alta proporción de escolares (16.1%) presenta baja talla para su edad y 4.5% presenta bajo peso para su edad. Además en el ámbito nacional el 19.5% de los niños tienen una prevalencia de anemia.

La prevalencia nacional de anemia en mujeres de 12 a 49 años de edad fue de 20.2%, al dividir las por embarazadas y no embarazadas, el 26.2% y 20.0% respectivamente, de las mujeres fueron anémicas.

La concentración anormal baja de hemoglobina en la sangre se define como anemia. Una importante función de la hemoglobina es el transporte de oxígeno a células y tejidos. Al comprometerse el suministro de oxígeno se ven afectadas importantes funciones, incluyendo el rendimiento físico y varias funciones mentales como la atención. En mujeres embarazadas la anemia se relaciona con la incidencia de bajo peso de sus hijos al nacer, la principal causa de anemia en el ámbito poblacional es la deficiencia de hierro que se produce por un aporte dietético inadecuado de dicho mineral o por inhibidores de la absorción de hierro presentes en la dieta como maíz y frijol.

Se define como anemia a la concentración de hemoglobina por debajo de 11 gramos por decilitro para los menores de cinco años y las mujeres embarazadas, y valores por debajo de 12 gramos por decilitro para las mujeres no embarazadas.

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad el desarrollo de un producto lácteo, que al consumirlo en la dieta diaria de mujeres y niños pueda ayudar a disminuir el porcentaje de población que presenta anemia, la propuesta como fuente de hierro es la de hierro aminoácido quelado, que por su estructura le permite tener la mayor absorción en el organismo humano, si

¹ Instituto Nacional de Salud Pública. **Encuesta Nacional de Nutrición 1999**, Estado nutricional de niños y mujeres en México. <http://www.insp.mx/enn>

² **Regiones:** Norte (Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas), Centro (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, México (excluye municipios y localidades conurbadas a la Ciudad de México), Michoacán, Morelos, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas), Ciudad de México (incluye el Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México) y Sur (Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán).

se compara con cualquier otra estructura de hierro inorgánico, aun cuando se incluyan en la dieta inhibidores de absorción de hierro.

De los productos lácteos factibles a ser enriquecidos con hierro aminoácido quelado y que puedan ser accesibles a la mayoría de la población, están básicamente tres tipos: a) la leche natural (leche magra) extraída directamente de la vaca, b) la leche rehidratada y c) la leche reconstituida.

Sin embargo, una desventaja importante de la leche natural (leche magra) es la variabilidad de producción de leche por parte de las vacas, es decir, el ciclo de producción de la leche de vaca aumenta en los meses de marzo – junio y disminuye en casi un 30% en los meses de julio – diciembre, esto trae como consecuencia un aumento de precio, – sobre todo para las empresas que no cuentan con ganaderos fijos; – por otra parte, si se logra conseguir leche a un precio barato es muy posible que está sea de muy mala calidad, lo que ocasiona rechazos en el momento de la evaluación por parte de control de calidad, seguido de paros en las líneas de producción.

Cuando la leche se encuentra en abundancia y la demanda está completa, con la leche que sobra lo más recomendable es que se deshidrate (secar leche), y así obtener leche en polvo para poderla conservar hasta los meses de mayor escasez; de lo contrario esa leche que sobra corre el riesgo de perderse debido a la alta carga microbiana que se genere durante su almacenamiento. Los fabricantes de leches pasteurizadas, asépticas – y por supuesto otro tipo de industria láctea y panificación; – utilizarán ésta leche en polvo para elaborar sus productos en una relación 1:1 (50% producto rehidratado con 50% de leche natural), tal es el caso de empresas nacionales.

Por otra parte el utilizar leche en polvo e ingredientes lácteos para elaborar leches rehidratadas y/o reconstituidas tienen la ventaja de que la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos es mínima en comparación con la leche fresca, además, la adquisición de leche en polvo y algunos ingredientes lácteos pueden ser de origen nacional o importados, con excelentes estándares de calidad, lo que no sucede con la leche fresca, ya que está se recomienda que se compre de ganaderos de la zona, para que no altere su calidad microbiológica y precio durante la transportación.

Desde el punto de vista proceso casi todas las líneas de producción de cualquier tipo de industria están diseñadas para elaborar diversos productos en las mismas líneas, es decir, en una área de hidratación de leche, también podemos realizar otros productos lácteos no necesariamente hidratados, por ejemplo utilizando leche fresca con cocoa y azúcar, podemos elaborar leches chocolatadas para los niños; En otros ejemplo, con enzima lactasa y leche fresca se puede preparar leche deslactosada con un contenido de grasa muy específico, etc.

Por lo dicho anteriormente, el producto lácteo propuesto es de una leche reconstituida parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado, vitaminas A y D₃,

El desarrollo del producto se mostrará a nivel laboratorio e industrial, por lo que la tesis se divide en dos capítulos básicos:

- Desarrollo de la Fórmula, capítulo 2

- Desarrollo del Proceso, capítulo 3

En el capítulo 2 se encuentran descritos:

- ~ Especificación de Producto Terminado
- ~ Especificaciones de Materias primas
- ~ Fórmula
- ~ Costo de Formulación

La especificación del producto terminado tiene como fundamento las normas mexicanas oficiales vigentes. A partir de dicha especificación se elabora el balance de ingredientes que incluye a la grasa butírica, sólidos de leche, proteína sérica y caseína, para que la fórmula cumpla con todos los aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales legales.

Las especificaciones de materia prima, como es común en la mayoría de las empresas, son la base de negociación entre el proveedor, comprador y el ingeniero de producto, por lo que el presente trabajo incluye para cada materia prima su respectiva especificación. Esta especificación incluye los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que debe cumplir cada ingrediente, expresados en valores mínimo y máximo, y se menciona la técnica oficial para evaluar los parámetros fisicoquímicos correspondiente.

Al tener la especificación se desarrolla la fórmula y por consiguiente el costo de la misma ya que para todas las empresas la rentabilidad de una fórmula es el aspecto más importante. El trabajo de tesis busca tener una fórmula que ayude a disminuir el problema de deficiencia de hierro, pero también la fórmula debe ser rentable para la comercialización en un mercado como el nuestro.

En el capítulo 3 se describen:

- Diagramas
- Proceso

Los diagramas son de bloques y de flujo para facilitar la visualización del proceso de manera general. El proceso muestra los equipos para la elaboración de una leche envasada asépticamente, así como los principales parámetros a controlar en el mismo.

El proceso que estudiaremos en esta tesis es con equipos ya instalados en una planta de productos lácteos ubicada en los Altos de Jalisco.

Finalmente, dentro de los anexos encontraremos las técnicas oficiales mexicanas para la determinación de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológico de la leche reconstituida, parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado y vitaminas A y D₃.

2. OBJETIVOS

1. Proponer el desarrollo de una fórmula de leche reconstituida, parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado y vitaminas A y D₃, para ser envasada asépticamente y reducir la deficiencia de hierro en mujeres y niños.
2. Estimar el costo de formulación de una leche reconstituida, parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado y vitaminas A y D₃.
3. Mostrar el proceso de elaboración a escala industrial de una leche reconstituida, envasada asépticamente.

3. DESARROLLO DE LA FÓRMULA

Existen muchos caminos para obtener un producto alimenticio que ayude a evitar la deficiencia de hierro en el ser humano; sin embargo, no todos pueden ser accesibles a la población mexicana, por lo que se seleccionó un producto de consumo básico como es la leche para enriquecerla con hierro aminoácido quelado.

La leche y otros productos lácteos son muy conocidos por la población, desafortunadamente, la realidad es que únicamente el 25% de la población mundial vive en países con un clima natural, condiciones económicas para criar vacas y producir leche fresca, además, los productos perecederos de la leche natural y la leche por sí sola, deben estar bajo refrigeración, lo que ocasiona una gran limitante a la distribución.

Alternativas, tales como leche condensada azucarada y leche evaporada proporcionan una parcial solución. Aquí es donde la reconstitución y rehidratación de leche ofrece ventajas atractivas, y unida al proceso de envasado aséptico, ha hecho posible la distribución de leches reconstituidas y rehidratadas con un sabor muy semejante a la leche fresca a temperatura ambiente³.

La Norma Oficial Mexicana⁴ hace una distinción entre la leche reconstituida y la leche rehidratada con objeto de no engañar al consumidor.

Definiciones:

- Leche Rehidratada: Es la leche líquida obtenida por adición de agua para uso y consumo humano a la leche descremada en polvo (LDP) o leche entera en polvo (LEP) y grasa butírica en cualquiera de sus formas.
- Leche Reconstituida: Es la leche líquida obtenida a partir de ingredientes propios de la leche, tales como caseína, grasa butírica, lactosuero, agua para uso y consumo humano, con un contenido mínimo de 30 g de proteínas propias de la leche por cada litro y 70%

³ APV Australia, Press information, **Manufacturing Recombined Dairy Products**, Septiembre 1999

⁴ Norma Oficial Mexicana, **NOM-155-SCFI-2003**, "Leches, fórmula láctea y producto lácteo combinado - Denominación, especificaciones físicoquímicas, información comercial y métodos de prueba". Sección 6, clasificación y denominación comercial.

de caseína con respeto a la proteína total, pudiendo contener otras grasa comestibles y aditivos alimenticios, en las cantidades necesarias para ajustar el producto a las especificaciones de composición y sensoriales de la leche.

De acuerdo con las definiciones de la NOM-155-SCFI-2003, la fórmula propuesta para el presente trabajo de tesis será la de una **leche reconstituida**, elaborada con las siguientes materias primas: a) leche descremada en polvo, b) caseinato de sodio, c) sólidos de mantequilla en polvo al 11%, d) suero dulce de leche con 12%, e) grasa butírica anhidra, f) emulsificante (mono y di glicéridos), g) hierro aminoácido quelado y h) vitaminas A y D₃. Cabe mencionar que éstos no son los únicos ingredientes con los que se puede elaborar una leche reconstituida, una adecuada selección de materias primas va muy ligada al costo final del producto, ya que por principio este tipo de producto va a una población de bajos recursos, y por consiguiente el producto debe ser económico.

El primer paso para el desarrollo de una fórmula, es definir la composición de la leche reconstituida a través de una especificación de producto terminado. La especificación se realiza con base en las normas oficiales mexicanas, las cuales son obtenidas en Internet. Definida la composición básica del producto final, podemos realizar el balance fisicoquímico de los ingredientes, para estimar las cantidades de cada uno de ellos dentro la fórmula, y así poder estimar el costo de formulación.

3.1 ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO TERMINADO

La leche reconstituida a elaborar debe cumplir con las siguientes normas y proyectos de normas oficiales mexicanas de carácter obligatorio, emitidas por las Dirección General de Normas (DGN) de la Secretaría de Economía.⁵

- **Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003**, "Leches, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba".
- **Norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002**, "Productos y servicios. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Especificaciones sanitarias".
- **Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-144-SSA1-1995**, "Bienes y servicios. Leche rehidratada y reconstituida, pasteurizada y ultrapasteurizada. Disposiciones y especificaciones sanitarias".

Para poder comercializar la leche reconstituida en el territorio mexicano, y en este caso todos los parámetros sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos deben ser obtenidos de estos documentos. En las Tabla No. 1 y No. 2 se resumen las características fisicoquímicas y microbiológicas que aseguran el cumplimiento de dichas normas.

Cabe mencionar que las tres normas antes mencionadas no son las únicas pero son las más importantes y son de carácter obligatorio, sin embargo durante el presente trabajo se citará

⁵ <http://www.economía.gob.mx/>

otras normas oficiales mexicanas (NOM) y normas mexicanas (NMX) también de importancia, para la elaboración del producto final.

Tabla No. 1 ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO TERMINADO, PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA UNA LECHE RECONSTITUIDA PARCIALMENTE DESCREMADA^{6,7}

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Punto crioscópico, m°H ⁽¹⁾	-0.550	-0.520	NOM-155-SCFI-2003 – 8.1
Caseína, g/L	21	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.2
Acidez (como ácido láctico), g/L	0.9	1.5	NOM-155-SCFI-2003 – 8.3
Sólidos no grasos de la leche, g/L	83	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.4
Proteínas propias de la leche, g/L	30	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.5
Densidad @ 15°C, g/ml	1.029	----	NMX-F-424-S-1982
Grasa butírica, g/L	6	28	NOM-155-SCFI-2003 – 8.10
Lactosa, g/L	43	50	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Vitamina A, UI/L	1033	2333	NMX-F-234-1972
Vitamina D ₃ , UI/L	200	300	Food Chemical Codex pp 345

⁽¹⁾ m°H: miligrados Holvert

Dentro de las especificaciones físicoquímicas de la Tabla No. 1, se observa que el contenido de grasa butírica para una leche parcialmente descremada puede ir de 6 a 28 g por cada litro de leche, la cantidad de grasa dentro de la formulación depende del sabor y textura que se le quiera proporcionar al producto final y también del costo presupuestado para la fórmula. En nuestro caso se selecciona una especificación de 16.5 ± 0.3 g de grasa butírica por cada litro de leche reconstituida, por lo que nuestra leche puede denominarse también, leche reconstituida semidescremada⁸, enriquecida con hierro aminoácido quelado y vitaminas A y D₃.

Tabla No. 2 ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO TERMINADO, PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS PARA UNA LECHE RECONSTITUIDA UHT⁹

Parámetro Microbiológico	Especificación		Método Analítico
	mínimo	máximo	
Mesofílicos anaerobios, UFC/ml	Negativo		NOM-092-SSA1-1994
Mesofílicos aerobios, UFC/ml	Negativo		NOM-092-SSA1-1994
Termofílicos anaerobios, UFC/ml	Negativo		NOM-092-SSA1-1994
Termofílicos aerobios, UFC/ml	Negativo		NOM-092-SSA1-1994

⁶ NOM-155-SCFI-2003, sección 7.4, Especificación

⁷ Norma Oficial Mexicana, NOM-184-SSA1-2002 "Productos y servicios. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Especificaciones sanitarias". Sección 7, especificaciones nutrimentales.

⁸ NOM-155-SCFI-2003, Sección 7.4.1. Especificación.

⁹ NOM-184-SSA1-2002, sección 6.15.2 Especificaciones sanitarias.

Los parámetros microbiológicos dentro de la especificación de producto terminado, básicamente son proporcionados por el proceso, es decir, la temperatura de pasteurización y el tratamiento UHT ayudarán a obtener la ausencia de microorganismos mesofílicos y termofílicos, aerobios y anaerobios respectivamente, lo que genera una esterilización comercial en la leche reconstituida y/o rehidratada.

No hay que desestimar la calidad microbiológica de los ingredientes suministrados por el proveedor, ya que definitivamente, una mala calidad en las materias primas da como resultado una mala calidad en el producto terminado.

Existen otros parámetros que también debe cumplir la leche reconstituida de acuerdo con la norma NOM-184-SSA1-2002 y son la cantidad de contaminantes e inhibidores permitidos. A continuación presentamos los límites para inhibidores y contaminantes.

Tabla No. 3 LÍMITES PERMITIDOS DE INHIBIDORES PARA UNA LECHE RECONSTITUIDA PROCESADA POR UHT¹⁰

Parámetro	Especificación	
	mínimo	máximo
Derivados clorados	Negativo	
Sales cuaternarias de amonio	Negativo	
Oxidantes	Negativo	
Formaldehídos	Negativo	

Tabla No. 4 LÍMITES PERMITIDOS DE CONTAMINANTES PARA UNA LECHE RECONSTITUIDA PROCESADA POR UHT¹¹

Parámetro	Especificación	
	mínimo	máximo
Arsénico, mg/kg	----	0.20
Mercurio, mg/kg	----	0.05
Plomo, mg/kg	----	0.10
Aflatoxina M1 µg	----	0.50

Con relación a las especificaciones sensoriales, las NOM y NMX sólo mencionan que el producto debe tener la apariencia, sabor y olor característicos de la leche, sin embargo, se debe obtener una especificación sensorial del producto final a través de prácticas de evaluación sensorial con jueces calificados y poblaciones representativas de donde se desea lanzar el producto. El sabor de una leche reconstituida está muy ligado a dos aspectos: el primero al tipo de materias primas utilizadas en la formulación y el segundo al tratamiento térmico al que es sometida la leche reconstituida.

¹⁰ NOM-184-SSA1-2002, sección 6.13 Especificaciones sanitarias.

¹¹ NOM-184-SSA1-2002, sección 6.14 Especificaciones sanitarias.

Hasta aquí ya contamos con las especificaciones de producto terminado con los que debemos realizar el balance fisicoquímico de ingredientes, pero antes de abordar este punto, revisaremos brevemente cada una de las materias primas que se requieren para elaborar la leche reconstituida parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado y vitaminas A y D₃.

3.2 MATERIAS PRIMAS

Existe una gran variedad de proveedores nacionales y extranjeros que nos pueden proporcionar las materias primas necesarias para la elaboración del producto. La selección del proveedor está definida por el precio, tiempo de crédito, calidad y distribución de la materia prima. Las materias primas propuestas a utilizar para la elaboración del producto son:

- Agua para rehidratación de leche en polvo
- Leche descremada en polvo (LDP)
- Sólidos de mantequilla en polvo al 11%
- Suero dulce de leche en polvo al 12%
- Grasa butírica anhidra
- Caseinato de sodio
- Mono y di glicéridos de los ácidos grasos
- Hierro aminoácido quelado
- Vitaminas A y D₃

3.2.1 AGUA PARA REHIDRATACIÓN DE LECHE EN POLVO (RLP)

El agua es una de las materias primas más importantes para llevar a cabo la reconstitución o rehidratación de la leche y representa cerca del 89% del total de los ingredientes de la fórmula. Ésta debe ser de muy buena calidad, libre de microorganismos patógenos y de una aceptable dureza. Un excesivo contenido de minerales y sobre todo de iones calcio ($[Ca^{++}]$ 70 – 80 ppm) y magnesio ($[Mg^{++}]$ 20 – 30 ppm) puede ser peligroso para el balance de sales del producto rehidratado o reconstituido, causando problemas de sedimentación o formación de grumos en las etapas de pasteurización, tratamiento UHT o durante la vida útil del producto¹².

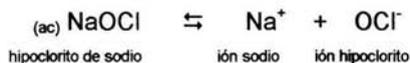
3.2.1.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DE AGUA PARA RLP

En la industria láctea la generación de agua suavizada para los procesos de hidratación de polvo se obtiene por cuatro etapas: a) desinfección química, b) filtración con arena y con carbón activado, c) suavización a través de intercambio iónico y d) desinfección con rayos U.V.

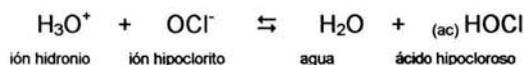
¹² Gösta Bylund, M.Sc. **Dairy Processing Handbook**, Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund Sweden, capítulo 18, Recombined milk products, pp 378.

- *Desinfección*, La desinfección es un proceso en el cual los organismos patógenos (productores de enfermedades) son destruidos o inactivados. En el caso del agua municipal comúnmente se utilizan reactivos químicos tales como ozono (O₃), dióxido de cloro (ClO₂)¹³, cloro gaseoso (Cl₂↑), o hipoclorito de sodio al 13% p/v (NaOCl). Estos agentes químicos actúan como desinfectantes por la vía de degradación química directa de la materia celular. Para el proceso que veremos en el capítulo 4 el compuesto químico que utilizaremos para la desinfección será una solución acuosa de hipoclorito de sodio al 13% p/v.

La sal de hipoclorito se disocian completamente en una dilución acuosa dando el ión hipoclorito.



El i3n hipoclorito puede reaccionar a su vez con un prot3n dando el 3cido hipocloroso, el cual es un desinfectante m3s fuerte que el i3n hipoclorito.



Por lo que para aumentar la efectividad bactericida se puede utilizar hipoclorito de sodio y 3cidos inorg3nicos conjuntamente con el fin de aumentar el porcentaje de cloro presente como HOCl.

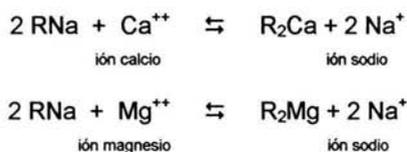
La concentraci3n m3nima de cloro residual recomendado para efectos bactericidas en agua que tenga un pH de 6.0 – 8.5 debe ser de 0.2 ppm, y debe contar con un tiempo de contacto de por lo menos 30 minutos.

- *Filtraci3n*, Despu3s de que el agua se ha desinfectado con hipoclorito de sodio al 13% p/v, es bombeada de la cisterna hacia un tren de seis columnas, cada par de columnas est3 empacada con tres diferentes materiales. El primer par de columnas est3n empacadas con arena, siendo su principal funci3n retener todas las macro part3culas que pudieran encontrarse en el agua, tales como insectos, astillas de madera u hojas secas entre muchos otros. El segundo par de columnas est3n empacadas con carb3n activado siendo su prop3sito adsorber los residuos de cloro utilizados en la desinfecci3n y mol3culas de hierro, que en ocasiones dicho hierro pudiera envenenar al pol3mero dentro de las columnas de intercambio i3nico o reducir el poder bactericida de las l3mparas de luz ultravioleta. El tercer par de columnas realiza la suavizaci3n del agua y se explica en el punto de intercambio i3nico.
- *Intercambio i3nico*, El ablandamiento o suavizaci3n del agua se realiza posterior a la filtraci3n y com3nmente se utiliza un par de columnas empacas con resinas de poliestireno. Esta resina tiene elevada capacidad, excelente estabilidad y mediana selectividad para iones distintos del Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ que normalmente est3n presentes en las aguas naturales y municipales.

¹³ Krk-Othmer *Encyclopedia of Chemical Technology*, Third Edition, Vol. 7 Desinfectants and Antiseptics, pp 801.

La resina se emplea inicialmente en forma sódica, es decir contiene el ión sodio como contraión cambiante o asociado, cuando el agua dura se pone en contacto con la resina, los cationes del agua son sustituidos por los iones sodio. Cuando la mayor parte de los iones sodio de la resina son desplazados por los cationes que proporcionan la dureza del agua, la resina es ineficaz como cambiador. Entonces el cambiador debe quitarse de servicio, lavarse en contracorriente para explosionar el lecho de resina y quitar la suciedad acumulada. Posteriormente se regenera a la forma sódica por el paso de una solución concentrada de cloruro de sodio a través del lecho. Finalmente se efectúa un aclarado, pasando agua para eliminar el exceso de solución regeneradora y la resina está lista para un nuevo ciclo de suavización.

Las reacciones de intercambio dentro de la columna son reacciones de equilibrio y se representan de la siguiente manera.



Cuando el agua presenta iones como Fe^{++} , Cu^{++} , Zn^{++} , que pudieran perjudicar al producto final lo mejor es invertir en un sistema de desmineralización completa.

- *Radiación Ultravioleta*, La luz ultravioleta es otro método de desinfección que tiene como principio la radiación de longitud de onda corta, y se utiliza al final del ciclo de generación de agua suavizada para garantizar la calidad microbiológica del agua. La acción destructiva masiva ocurre más allá del espectro visible, para longitudes de onda comprendidas entre 2500Å - 2650Å. La luz ultravioleta puede destruir una célula, retrasar su crecimiento o cambiar su herencia por medio de una mutación genética, debido a que las proteínas tienen unas bandas de absorción marcadas en la región del ultravioleta, se supone que los ácidos nucleicos de las células bacteriales absorben la energía y se destruyen.

Estos ácidos nucleicos comprenden **DNA** en el núcleo y **RNA** en el citoplasma. La dosis de radiación y las partes de la célula que reciben esta energía determinan cual de los tres efectos tiene lugar. Formas microbianas distintas exhiben diferente resistencia a la radiación ultravioleta, siendo las esporas más resistentes que las células vegetativas.

El uso de la luz ultravioleta para la desinfección tiene algunas ventajas definidas. Realmente no se añade nada al agua y por lo tanto no se cambia su calidad. Después de su tratamiento no se obtienen ni sabores ni olores. La principal desventaja de la radiación ultravioleta como método para desinfectar suministros de agua en gran escala, es debido al hecho de que no proporciona una protección residual contra la recontaminación. En nuestro caso el agua pasa posteriormente a una pasteurización y tratamiento UHT.

3.2.1.2 ESPECIFICACIONES DE AGUA PARA RLP

De acuerdo con la NOM-127-SSA-1994¹⁴ el agua para elaborar productos lácteos rehidratados y/o reconstituidos debe ser para uso y consumo humano por lo que debe cumplir con los siguientes límites permisibles de calidad.

Tabla No. 5 ESPECIFICACIÓN SENSORIAL DE AGUA PARA ELABORAR PRODUCTOS LÁCTEOS REHIDRATADOS Y RECONSTITUIDOS¹⁵

Parámetro Físicoquímico	Límite permisible	Método Analítico
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino – cobalto.	NMX-AA-045-SCFI-2001
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).	NMX-AA-083-1982
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.	NMX-AA-083-1982

Tabla No. 6 ESPECIFICACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE AGUA PARA ELABORAR PRODUCTOS LÁCTEOS REHIDRATADOS Y RECONSTITUIDOS¹⁶

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método Analítico
	mínimo	máximo	
Dureza total como CaCO ₃ , mg/l	----	100.0	NMX-AA-072-SCFI-2001
Fierro, mg/l	----	0.1	NOM-117-SSA1-1994
Cobre, mg/l	----	0.0	NOM-117-SSA1-1994
Zinc, mg/l	----	0.0	NOM-117-SSA1-1994
Bicarbonato, mg/l	----	80.0	NMX-AA-036-SCFI-2001
Manganeso, mg/l	----	0.05	NMX-AA-051-SCFI-2001
Aluminio, mg/l	----	0.1	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cloruros, mg/l	----	0.0	NMX-AA-073-SCFI-2001
Fluoruros, mg/l	----	1.0	NOM-117-SSA1-1994
Cloro residual, mg/l	----	0.0	NMX-AA-108-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales	----	500	NMX-F-509-1988
pH	7.0	8.5	NMX-AA-008-SCFI-2000

¹⁴ Norma Oficial Mexicana **NOM-127-SSA1-1994** "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"

¹⁵ **NOM-127-SSA1-1994**

¹⁶ **Dairy Processing Handbook**, capítulo 6.11, Service systems, pp 176.

Tabla No. 7 ESPECIFICACIÓN MICROBIOLÓGICA DE AGUA SUAVIZADA PARA ELABORAR PRODUCTOS LÁCTEOS REHIDRATADOS Y RECONSTITUIDOS¹⁷

Parámetro Microbiológico	Especificación		Método Analítico
	mínimo	máximo	
Coliformes totales, UFC/100ml	Negativo		NMX-AA-042-1997
Coliformes fecales, UFC/100ml	Negativo		NMX-AA-042-1997

3.2.2 LECHE DESCREMADA EN POLVO (LDP)

La composición nutricional de la leche en polvo varía, dependiendo de la fuente (raza de vaca lechera), temporada, ciclo de lactación, y proceso de manufactura involucrado. En general la leche en polvo es rica en proteínas, lactosa, minerales y vitaminas solubles.

Las proteínas de leche son divididas en dos clases: caseínas y proteínas de suero. Aproximadamente el 80% de las proteínas en la leche son caseínas (α -caseína 40%, β -caseína 30%, κ -caseína 15% y λ -caseína 15%). Las proteínas del suero, también llamadas proteínas séricas, ocupan alrededor de un 20% de la proteína total (β -lactoglobulina 50%, α -lactoalbuminas 22%, inmunoglobulinas 12%, sero-albúminas 5% y proteosa-peptonas 10%) y son las proteínas solubles cuando las caseínas son coaguladas por acidificación o por reacción enzimática¹⁸.

La leche descremada en polvo es el segundo ingrediente en importancia dentro de una leche rehidratada porque representa cerca del 8.6% del total de ingredientes, además de ser el único compuesto que proporciona los sólidos no grasos a la fórmula. Por otra parte en la leche reconstituida el porcentaje de leche descremada en polvo puede reducirse hasta en un 2.7% ya que los sólidos no grasos pueden ser obtenidos a partir de otras materias primas como son los sólidos de mantequilla, suero en polvo, caseinato de sodio, concentrado de proteína de suero (*Whey Protein Concentrate*), entre muchos otros ingredientes.

3.2.2.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LECHE DESCREMADA EN POLVO

La leche descremada en polvo es elaborada por un proceso dividido en dos etapas, la primera etapa es separar la grasa butírica de la leche que llega en pipas de los sitios de ordeña, por un proceso de descremado que tiene como principio la clarificación y centrifugación, en esta etapa se obtienen dos productos con diferentes densidades, el producto menos denso es comúnmente conocido como crema, y es obtenida en una concentración aproximada del 45%, se pasteuriza y es almacenada en cámaras de refrigeración para múltiples usos en la industria láctea.

¹⁷ *Dairy Processing Handbook*, capítulo 6.11, Service systems, pp 176.

¹⁸ **Dr. Charles Alais**, Ciencia de la leche, Principio de técnica lechera, Compañía Editorial Continental, Décima Tercera Reimpresión, México, 2001, pp 90.

El producto más denso obtenido de la centrifugación es la leche descremada fluida con un contenido aproximado de 1 g de grasa butírica por cada litro de leche. Esta leche es pasteurizada en una relación temperatura/tiempo específica para definir el índice de nitrógeno de proteína de suero y así obtener las propiedades deseadas en la leche en polvo, a veces la leche descremada fluida es almacenada en tanques silos a 4°C para posteriormente pasar a la segunda etapa definida como el secado de la leche.

El secado implica que el agua en un producto líquido – en este caso leche – es removida para que el producto adquiera una forma sólida, el agua contenida en la leche en polvo está en un intervalo de 2.5% – 5.0%, el crecimiento bacteriano con esta cantidad de agua no ocurre. El secado aumenta la vida de anaquel de la leche simultáneamente reduce el peso y volumen, y también reduce los costos de transportación y almacenamiento.

Existen dos procesos para secar la leche, el más antiguo es utilizar un tambor giratorio y el secado es en una sola fase. El segundo proceso es secar la leche con un equipo de aspersión. De los dos procesos los productos son un tanto diferentes, sin embargo el producto que nos interesa es aquel que se obtiene por aspersión debido a que el grado de aglomeración es alto y eso favorece la solubilidad, indispensable para la elaboración de leche rehidratada y/o reconstituida y sometida a un tratamiento térmico severo.

El secado por aspersión corresponde a la segunda etapa y se divide en dos fases, la primera fase es un pre-tratamiento donde se evapora agua hasta obtener un contenido de sólidos de leche entre los 45% – 50%, En la segunda fase, el producto concentrado es bombeado a una torre para el secado final. La segunda fase se divide en tres pasos:

- Dispersión del concentrado en muy finas gotas.
- Mezclado de las finas gotas concentradas con una corriente de aire caliente que evapora rápidamente el agua.
- Separación de las partículas de leche en polvo del aire caliente.

La instalación más simple para el secado por aspersión consiste en enviar la leche concentrada a una torre de secado por medio de una bomba de alta presión. En la torre la leche es atomizada en pequeñas gotas. Dentro de la torre las gotas atomizadas de leche son mezcladas con aire caliente en contra corriente y el agua se evapora rápidamente, la temperatura del aire está entre los 150°C y los 250°C. La pérdida de agua permite una reducción considerable en peso, volumen y diámetro de la partícula. Bajo condiciones normales de secado, el peso puede reducirse en un 50%, el volumen en un 40% y el diámetro cerca de un 75%.

La leche en polvo que sale del proceso es transportada neumáticamente a la sección de empaque por aire frío. Después del enfriamiento la mezcla de aire frío y leche en polvo pasa por un equipo ciclón donde el aire es separado del polvo para posteriormente ser empacado en sacos de papel kraft de 25 kg¹⁹.

¹⁹ Dairy Processing Handbook, capítulo 17, Milk powder, pp 365-368.

3.2.2.2 ÍNDICE DE NITRÓGENO DE PROTEÍNA DE SUERO (WPNI)

Un método comúnmente usado para clasificar la leche descremada en polvo es referido a la técnica de proceso, consecuentemente al tratamiento térmico por el cual la leche ha sido expuesta previamente a la evaporación y secado por aspersión.

Durante el tratamiento térmico de la leche la proteína de suero es desnaturalizada a diferentes grados, dependiendo de la relación temperatura/tiempo que se proporciona en el pasteurizador. El grado de desnaturalización es normalmente expresado por *Whey Protein Nitrogen Index (WPNI)* como miligramos de proteína de suero no desnaturalizado (u.w-p) por gramo de polvo.

Es importante mencionar que se debe tener cuidado con la selección de la leche descremada en polvo y con el índice de nitrógeno de proteína de suero adecuado, ya que es de suma importancia para los procesos a altas temperaturas (proceso U.H.T. que requieren envasado aséptico), de lo contrario puede haber presencia de grumos en el envasado y durante la vida de anaquel del producto^{20, 21}.

Tabla No.8 CATEGORÍAS DE LECHE EN POLVO EN FUNCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Categoría	Relación temperatura/tiempo	WPNI/ mg/g u.w-p
<i>Extra Low Heat</i> Extra LH	<70°C/15seg.	(1)
Low Heat LH	70°C/15seg.	>6.0
<i>Medium Heat</i> MH ⁽³⁾	85°C/20seg	5.0 - 6.0
<i>Medium Heat</i> MH ⁽³⁾	90°C/30seg	4.0 - 5.0
<i>Medium Heat</i> MH ⁽³⁾	95°C/30seg	3.0 - 4.0
<i>Medium High Heat</i> MHH ⁽³⁾	124°C/30seg	1.5 - 3.0
<i>High Heat</i> HH	135°C/30seg	<1.4
<i>High Heat</i> ⁽²⁾ HHHS	135°C/30seg	<1.4

(1) No medible

(2) Se realiza utilizando una leche especialmente seleccionada

(3) Categoría de leche recomendada para procesos de pasteurización, tratamiento UHT y esterilización

²⁰ Dairy Processing Handbook, capítulo 17, Milk powder, pp 363

²¹ Dairy Processing Handbook, capítulo 18, Recombined milk products, pp 376, 377

3.2.2.3 ESPECIFICACIONES DE LECHE DESCREMADA EN POLVO^{22, 23}**Tabla No. 9** ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS DE LECHE DESCREMADA EN POLVO *MEDIUM HEAT* Y/O *MEDIUM HIGH HEAT*

Parámetro Fisicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Humedad, %	3.0	4.0	NOM-116-SSA1-1994
Acidez titulable, como ácido láctico, %	0.12	0.15	NOM-155-SCFI-2003 – 8.3
Proteínas, %	34	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.5
Grasa butírica, %	0.6	1.25	NOM-086-SSA-1994 – aC
Lactosa, %	50	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Cenizas, %	----	8.2	Food Chemical Codex p 466
Índice de solubilidad, ml, ADMI ⁽¹⁾	----	1.25 ⁽²⁾	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Partículas quemadas, disco B, mg	7.5	15	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11

(1) ADMI = *American Dry Milk Institute Inc.*

(2) Para leches diseñadas para ser *high heat* HH se permite un máximo de 2.0 ml

Tabla No. 10 ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS DE LECHE DESCREMADA EN POLVO *MEDIUM HEAT* Y/O *MEDIUM HIGH HEAT*

Parámetro Microbiológicos	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Mesofílicos aerobios, UFC/ml	----	50000	NOM-092-SSA1-1994
Termofílicos anaerobios, UFC/ml	----	500	NOM-092-SSA1-1994
Coliformes totales, UFC/g	----	90	NOM-113-SSA1-1994
Salmonela, UFC/g		negativo	NOM-114-SSA1-1994
Estafilococo aureas, UFC/g		negativo	NOM-115-SSA1-1994
Listeria monocitógena, UFC/g		negativo	NOM-143-SSA1-1995

Además de las especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas que la leche descremada en polvo debe cumplir, se recomienda que ésta tenga las siguientes propiedades físicas para poder preparar una excelente rehidratación a escala industrial.

- *Humectabilidad*: El concepto describe la habilidad de las partículas de polvo de leche a ser humedecidas cuando entran en contacto con la superficie del agua. El grado de humectabilidad es una función principal del volumen de la partícula y especialmente de la capilaridad. Polvos aglomerados han mejorado la capilaridad, lo que da como resultado un incremento en la humectabilidad. Otra opción para mejorar la humectabilidad es

²² <http://www.idb.ie/products/Skimmil.HTM> Irish Dairy Board Inc. Especificación de leche descremada en polvo

²³ <http://www.usdec.org/products/MilkPowderSpecs/content.cfm?Itemnumber=485> U.S. Dairy Export Council, Especificación de leche descremada en polvo

incrementar el tamaño de partícula de polvo en 130 – 150 μm de diámetro. Una humectabilidad aceptable debe ser de al menos 30 segundos

- *Habilidad para caer.* El término se usa para describir la velocidad con que las partículas de polvo caen dentro del agua, esta habilidad es una función del volumen específico y el tamaño de partícula. Polvos aglomerados tienen la mejor habilidad para caer.
- *Dispersabilidad.* Buena dispersabilidad es obtenida cuando los polvos se adicionan al agua y se distribuyen generando una sola partícula y permitiendo que no se encapsule. La estructura de las partículas de polvo, así como la configuración de las partículas de proteína son de importancia. Polvo con un alto contenido de proteína desnaturalizada será difícil de dispersar en el agua. Un grado de dispersabilidad de 90% como mínimo es normal para leches en polvo que se utilizarán para recombinación.
- *Solubilidad.* Este término describe la eficiencia con que los polvos se disuelven y forman una suspensión estable. La solubilidad depende en gran medida de la tecnología usada durante la producción de los polvos. Un buen índice de solubilidad debe ser tan bajo como 0.25 ml de sedimento no disuelto en 50 ml de leche rehidratada y/o reconstituida^{24, 25}

3.2.3 SÓLIDOS DE MANTEQUILLA

Los sólidos de mantequilla en polvo, constituyen un producto lácteo natural obtenido del secado por aspersión de suero que resulta de la fabricación de grasa butírica anhidra.

Los sólidos de mantequilla poseen un alto contenido de fosfolípidos necesarios para asegurar que el producto lácteo reconstituido obtenga la composición, sabor y palatabilidad muy cercana a la de los productos frescos. Los fosfolípidos son esenciales para el control de la viscosidad y formación de emulsiones.

3.2.3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE SÓLIDOS DE MANTEQUILLA EN POLVO

Los sólidos de mantequilla es un producto secundario en la manufactura de grasa butírica anhidra, es decir, cuando la crema al 45% se concentra nuevamente se obtienen dos productos, el primero y menos denso es crema al 75% – 80% con el que posteriormente se elabora la grasa butírica anhidra y que explicaremos en el inciso 3.2.5. Y un producto más denso que contiene entre 0.6% – 1.0% de grasa butírica (el porcentaje varía dependiendo del método de centrifugación), llamado comúnmente *buttermilk* fluido, este *buttermilk* es pasteurizado y tratado por la misma etapa de aspersión con el que se seca la leche descremada, y de esta manera se obtienen los sólidos de mantequilla en polvo²⁶.

²⁴ Dairy Processing Handbook, capítulo 18, Recombined milk products, pp 378, 379

²⁵ Eric Kragh Iversen, Journal of Dairy Technology and Know-How/NM 2-85, Recombined Milk, Danisco Cultor, Denmark, pp 3

²⁶ Dairy Processing Handbook, capítulo 13, Anhydrous milk fat (AMF) (Butteroil), pp 281

3.2.3.2 ESPECIFICACIONES DE SÓLIDOS DE MANTEQUILLA EN POLVO²⁷**Tabla No. 11** ESPECIFICACIONES FÍSICOQUÍMICAS
PARA LOS SÓLIDOS DE MANTEQUILLA

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Humedad, %	3.0	4.0	NOM-116-SSA1-1994
Acidez titulable, como ácido láctico, %	----	0.15	NOM-155-SCFI-2003 – 8.3
Proteínas, %	31.0	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.5
Grasa butírica, %	11.1	----	NOM-086-SSA-1994 – aC
Lactosa, %	44.0	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Cenizas, %	----	8.0	Food Chemical Codex p 466
Índice de solubilidad, ml, ADMI ⁽¹⁾	----	0.5	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Partículas quemadas, disco B, mg	----	1.2	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11

(1) ADMI = *American Dry Milk Institute Inc.***Tabla No. 12** ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS
PARA LOS SÓLIDOS DE MANTEQUILLA

Parámetro Microbiológicos	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Mesofílicos aerobios, UFC/ml	----	10,000	NOM-092-SSA1-1994
Termofílicos aerobios, UFC/ml	----	300	NOM-092-SSA1-1994
Estafilococo aureas UFC/g	Negativo		NOM-115-SSA1-1994
Coliformes totales, UFC/g	Negativo		NOM-113-SSA1-1994
Salmonela, UFC/g	Negativo		NOM-114-SSA1-1994

3.2.4 SUERO DULCE DE LECHE EN POLVO AL 12%

El suero líquido contiene alrededor del 50% de los nutrientes de la leche original: proteína soluble, lactosa, vitaminas y minerales. Existen básicamente dos tipos de suero, el primero es conocido como suero dulce por tener un intervalo de pH entre 6.1 – 6.7 y es obtenido de la producción de quesos tipo *Emmentaler*, *Edam*, *Saint Paulin*, *Camembert*, *Cheddar* y caseína *rennet*; el segundo se conoce como suero ácido y un intervalo de pH entre 4.0 – 4.6 y proviene de la acidificación de la leche descremada con ácido láctico, ácido clorhídrico o ácido sulfúrico²⁸.

²⁷ <http://www.idb.ie/products/BUTERM11.HTM> Irish Dairy Board Inc. Especificación de sólidos de mantequilla²⁸ J.G Zadow, *Whey and Lactose Processing*, Editorial Elsevier Applied Science, Gran Bretaña 1992 pp 74-80

El suero que utilizaremos para formular la leche rehidratada es el suero dulce de leche en polvo, el cual tiene muchas aplicaciones en la industria alimenticia, El suero líquido puede ser secado por aspersión para obtener un suero dulce de leche en polvo, también, concentrarse y secarse nuevamente por aspersión, obteniendo de esta forma suero de proteína concentrado conocido como *WPC*, inclusive pueden separarse proteínas séricas muy específicas a través de equipos de micro filtración para elaborar suplementos alimenticios. En nuestro caso únicamente nos enfocaremos en el uso de suero dulce en polvo con un contenido mínimo de 12% de proteína sérica.

3.2.4.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE SUERO DULCE DE LECHE

Uno de los procesos donde se obtiene el suero dulce de leche es en la manufactura de caseína, el primer paso es el mismo que en la elaboración de leche descremada en polvo y es separar la grasa butírica por centrifugación y obtener crema al 45% y leche descremada fluida. Esta leche descremada fluida es colocada en un decantador para adicionar ahí mismo la enzima quimosina (*chymosine*) y después de 15 – 20 minutos se formará un gel, el coágulo es agitado y calentado a 60°C durante 30 minutos para desactivar la enzima, y cuando se han alcanzado las condiciones el suero dulce líquido es decantado²⁹.

El suero se encuentra en forma líquida y debe enfriarse por lo menos a 5°C. Si legalmente está permitido por la región donde se produce, el suero dulce líquido puede ser preservado por adición de bisulfito de sodio, en una concentración típica del 0.4% calculado como dióxido de azufre (SO₂) o con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en una concentración del 0.2% de un peróxido de hidrógeno que esté a una concentración del 30%.

Antes de secar el suero dulce, éste es preconcentrado en un evaporador multietapas al vacío. También se utilizan plantas de ósmosis inversa de diseño tubular para preconcentrar el suero antes de pasar al secado final. Con la preconcentración se alcanza entre 45% – 65% de sólidos totales, el concentrado es enfriado rápidamente a 30°C en un intercambiador de placas y es transferido a un tanque de triple chaqueta para enfriarse hasta los 15°C – 20°C acompañado por una agitación constante. Esta agitación puede prolongarse hasta un período 6 – 8 horas para obtener cristales lo más pequeños posible, lo cual proporcionará un producto no higroscópico cuando se seque.

El suero concentrado es una solución sobresaturada de lactosa y – bajo ciertas condiciones de temperatura y concentración; – la lactosa puede cristalizarse antes de que el suero salga del evaporador. A concentraciones mayores de 65% de sólidos totales el producto puede llegar a ser demasiado viscoso y no es fácil hacerlo fluir por la tubería.

Finalmente y – en un proceso sin complicaciones; – el suero dulce de leche se seca exactamente con el mismo proceso como se seca la leche descremada en polvo. Luego se envasa en sacos de papel kraft con un contenido neto de 25 kg³⁰.

²⁹ Dairy Processing Handbook, capítulo 20, Casein, pp 395

³⁰ Dairy Processing Handbook, capítulo 15, Whey processing, pp 331-334

3.2.4.2 ESPECIFICACIONES DE SUERO DULCE EN POLVO^{31, 32}**Tabla No. 13** ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS DE SUERO DULCE EN POLVO AL 12%

Parámetro Fisicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Humedad, %	3.5	4.0	NOM-116-SSA1-1994
Acidez titulable, como ácido láctico, %	0.10	0.15	NOM-155-SCFI-2003 – 8.3
Proteínas, %	12.0	14.5	NOM-155-SCFI-2003 – 8.5
Grasa butírica, %	1.0	1.5	NOM-086-SSA-1994 – aC
Lactosa, %	70	75	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Cenizas, %	8.2	8.8	Food Chemical Codex p 466
Partículas quemadas, disco A, mg	7.5	15	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11

Tabla No. 14 ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS DE SUERO DULCE EN POLVO AL 12%

Parámetro Microbiológicos	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Mesofílicos aerobios, UFC/ml	----	50,000	NOM-092-SSA1-1994
Termofílicos anaerobios, UFC/ml	----	300	NOM-092-SSA1-1994
Hongos y levaduras, UFC/g	----	50	NOM-092-SSA1-1994
Estafilococo aureas UFC/g	Negativo		NOM-115-SSA1-1994
Coliformes totales, UFC/0.1g	Negativo		NOM-113-SSA1-1994
Salmonela, UFC/25g	Negativo		NOM-114-SSA1-1994

3.2.5 GRASA BUTÍRICA ANHIDRA

La grasa butírica que es utilizada para elaborar una leche reconstituida y/o rehidratada puede ser de tres distintas calidades³³, las cuales se mencionan a continuación.

- GRASA LÁCTEA ANHIDRA O GRASA BUTÍRICA ANHIDRA (*Anhydrous Milk Fat*): Debe contener al menos el 99.8% de grasa butírica y puede ser elaborada a partir de crema fresca. En esta calidad de grasa los aditivos para la neutralización de ácidos grasos libres no son permitidos.

³¹ http://www.idb.ie/products/WHEY_POW.HTM Irish Dairy Board Inc. Especificación de suero en polvo

³² <http://www.usdec.org/Products/WheySpecs/content.cfm?Itemnumber=459> U.S. Dairy Export Council, Especificación de suero en polvo

³³ *Dairy Processing Handbook*, capítulo 13, Anhydrous milk fat (AMF) (Butteroil), pp 279-280

- ACEITE DE MANTEQUILLA ANHIDRA (*Anhydrous Butteroil*): Debe contener al menos el 99.8% de grasa butírica y puede ser elaborada a partir de crema fresca y grasa butírica no fresca. En esta calidad de grasa los aditivos para la neutralización de ácidos grasos libres si están permitidos.
- ACEITE DE MANTEQUILLA (*Butteroil*): Debe contener al menos 99.3% de grasa butírica, las materias primas y las especificaciones de proceso son las mismas que para el aceite de mantequilla.

Cabe mencionar que la grasa láctea en una fórmula de leche rehidratada proporcionan cerca del 91.5% de los sólidos no grasos, por el contrario en una leche reconstituida como la diseñada en el inciso 3.3 los sólidos no grasos a partir de la grasa butírica sólo representan el 68%.

Aparte de la grasa butírica y sus distintas calidades existe otra opción de sólidos no grasos en el mercado. Dicha opción es formular la leche reconstituida con grasa vegetal, – la cual es tres veces más económica que la grasa butírica –, sin embargo, el sabor difiere del obtenido al utilizar grasa butírica anhidra.

Para fines del presente trabajo de tesis se propone trabajar con la grasa de mejor calidad que es la grasa butírica anhidra.

3.2.5.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA GRASA BUTÍRICA ANHIDRA

El proceso de manufactura de la grasa butírica anhidra es a partir de crema al 45% en un proceso continuo, el primer paso es enviar la crema al 45% a un pasteurizador, ahí la crema alcanza una temperatura de 80°C con un sostenimiento de 15 segundos, posteriormente la crema pasteurizada pasa a una centrifuga donde se obtienen dos productos de diferente densidad, el producto de densidad más alta conocida comúnmente como *buttermilk* es un subproducto el cual es secado y vendido como sólidos de mantequilla. Ver inciso 3.2.3. El producto menos denso es una crema con un contenido de grasa butírica de al menos 75%. Esta crema al 75% pasa a un tanque y es bombeada por medio de una bomba de desplazamiento positivo hacia un homogeneizador y es ahí donde se llevará a cabo la fase de inversión, es decir la crema pasa de ser una suspensión aceite/agua (*o/w*) a ser una suspensión agua/aceite (*w/o*) e inmediatamente pasa a una centrifugación final de donde se obtiene la grasa butírica con una concentración mínima del 99.5%. Se calienta hasta los 95°C – 98°C y es enviada a una cámara de vacío para obtener un producto con una humedad no mayor al 0.1%, el producto finalmente es enfriado a 35°C – 40°C y almacenado a temperatura ambiente.

La segunda corriente que sale de la centrifugación final es retornada al tanque donde se recolecta la crema al 75%.

Al final del proceso la grasa butírica anhidra puede pasar por varios procesos de refinación dependiendo del uso final que se le haya designado, los principales son los siguientes:

- **PULIDO.** El pulido involucra el lavado de la grasa butírica con agua para obtener un producto claro y brillante. Se adiciona de 20% – 30% de agua a la grasa butírica antes de que la grasa butírica entre a la cámara de vacío. El agua debe estar a la misma temperatura para poder solubilizar las proteínas, después, en la misma cámara de vacío se separa el agua y la grasa butírica sale translúcida y brillante.
- **NEUTRALIZACIÓN.** La neutralización es desarrollada para reducir los niveles de ácidos grasos libres presentes en el aceite. Altos niveles de ácidos grasos libres favorecen la presencia de sabores extraños en el producto donde es utilizada la grasa butírica. Hidróxido de sodio en un rango de concentración de 8% – 10% es adicionado durante 10 segundos aproximadamente, e inmediatamente después se agrega agua en una proporción igual que en la refinación por pulido para extraer los ácidos grasos saponificados en la fase acuosa. Al igual que en la refinación por pulido el hidróxido de sodio se agrega después de la centrifugación final a un tanque de mezclado junto con la grasa butírica, pero en este caso se emplea un separador de ácidos grasos saponificados. El valor de los ácidos grasos libres en la grasa butírica anhidra debe ser bajo, no más del 0.3% de ácido oleico.

Si aparece un sabor a jabón en una leche reconstituida o rehidratada, es muy probable que sea causado por que la grasa butírica anhidra contiene un exceso de ácidos grasos libres, y con una excesiva agitación de la leche o aire en las líneas de producción, se puede inducir la lipólisis y un sabor a rancidez.

- **DESTILACIÓN.** La destilación es una separación de las grasas de alto punto de fusión de las de bajo punto de fusión, los productos fraccionados tienen diferentes propiedades y pueden ser utilizados en varios productos.
- **DESCOLESTEROLIZACIÓN.** La descolesterización es un proceso en donde el colesterol es removido de la grasa butírica anhidra. Frecuentemente es utilizada una mezcla de aceite con un almidón modificado: betaciclodextrina. La BCD rodea a la molécula de colesterol y forma un precipitado que puede ser separado por centrifugación.

3.2.5.2 VALOR DE PERÓXIDO

La oxidación es causada por una reacción entre el oxígeno y los ácidos grasos de la molécula de triglicéridos. Esta reacción resulta en la formación de peróxido que a un cierto nivel puede permitir la creación de sabor y olor no deseable, así como un deterioro del valor nutritivo debido a la oxidación de vitaminas en el producto. La formación inicial de peróxidos es relativamente lenta, pero después de un tiempo la reacción automáticamente se acelera y drásticamente el valor de peróxido se eleva. El proceso de oxidación puede ser dividido en tres períodos³⁴.

- **PERÍODO DE INDUCCIÓN.** El tiempo que transcurre entre el inicio de la oxidación y la posibilidad de que pueda determinarse analíticamente o sensorialmente es llamado

³⁴ Eric Kragh Iversen, pp 2

período de inducción. Durante este período el producto puede retener sus características y calidad inicial, sin embargo, debe ser mantenido lo más largo posible, ya que un ligero incremento en el valor del peróxido desencadenaría el inicio del período de oxidación incrementándose el valor del peróxido exponencialmente.

- PERÍODO DE OXIDACIÓN. En esta etapa la formación de peróxido se acelera automáticamente, y es irreversible. La adición de antioxidantes durante este período no detiene o disminuye el período de oxidación.
- PERÍODO DE TERMINACIÓN. El valor de peróxido ha alcanzado su máximo cuando la grasa está totalmente oxidada. Este es el comienzo del período de terminación, durante el cual el peróxido gradualmente se transformará en aldehídos, cetonas y ácidos. El valor de peróxido empieza a descender y después de un tiempo puede llegar a ser muy bajo, sin embargo sensorialmente el producto se encuentra dañado.

3.2.5.3 EMPAQUE

Normalmente la grasa butírica es empacada en tambores de 1.0, 19.5 o 185.0 kg. En el envasado se utiliza nitrógeno gaseoso N_2 – el cual es un gas inerte – y se inyecta en el contenedor, como el N_2 es más pesado que el aire éste ocupa al fondo del contenedor. Cuando el contenedor es llenado con la grasa butírica anhidra que es más pesada que el N_2 , la grasa butírica queda por debajo y el gas inerte crea en la parte superior del contenedor un cierre hermético al aire previniendo que la grasa butírica anhidra se oxide por inducción del aire.

3.2.5.4 ESPECIFICACIONES DE GRASA BUTÍRICA ANHIDRA^{35, 36}

Tabla No. 15 ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS DE LA GRASA BUTÍRICA ANHIDRA (AMF)

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Grasa, %	99.9	----	NOM-086-SSA-1994 – aC
Humedad	----	0.1	NOM-116-SSA1-1994
Ácidos grasos libres (como % de ácido oleico)	----	0.2	AOAC Ca 5a-40
Valor de peróxido, meq O_2 /kg	----	0.2	NMX-F-154-1981
Punto de fusión, °C (Mettler)	31	34	NMX-F-114-S-1981
Cobre, Cu, mg/kg de GBA	----	0.05	NOM-117-SSA1-1994
Hierro, Fe, mg/kg de GBA	----	0.2	NOM-117-SSA1-1994

³⁵ New Zealand Milk Product. Boletín de producto grasa butírica anhidra P101.03.1098.

³⁶ <http://www.idb.ie/products/ANHYDROU.HTM> Irish Dairy Board Inc. Especificación de grasa butírica anhidra

Tabla No. 16 ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS
DE LA GRASA BUTÍRICA ANHIDRA (AMF)

Parámetro Microbiológicos	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Mesofílicos aerobios, UFC/ml	----	100	NOM-092-SSA1-1994
Hongos y levaduras, UFC/g		Negativo	NOM-113-SSA1-1994
Coliformes totales, UFC/0.1g		Negativo	NOM-113-SSA1-1994
Salmonela, UFC/25g		Negativo	NOM-114-SSA1-1994

3.2.6 CASEINATO DE SODIO

La caseína es usualmente dividida en los siguientes tipos:

- Caseína *Rennet*, obtenida por precipitación enzimática.
- Caseína ácida, obtenida por acidificación de leche descremada hasta el punto isoeléctrico (pH 4.6 – 4.7)
- Coprecipitado, elaborada por calentamiento de la leche descremada a altas temperaturas y precipitando la caseína y complejos de proteína de suero, usualmente con cloruro de calcio. El co-precipitado además contiene proteína sérica y calcio.
- Caseinatos, comúnmente caseinato de sodio, obtenido de la reacción de caseína ácida con hidróxido de sodio en fase acuosa.

El único producto que nos interesa es el caseinato de sodio por lo que veremos el proceso de elaboración de la caseína ácida y luego la formación del caseinato de sodio por reacción con hidróxido de sodio.

3.2.6.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CASEINATO DE SODIO³⁷

Para producir caseína de alta calidad, la leche descremada debe ser de muy buena calidad. Si las bacterias han tenido tiempo de actuar sobre la proteína de la leche y como resultado se obtiene un cambio en la acidez, al momento de obtener la caseína en polvo puede ser que ésta se obtenga con un color grisáceo y una consistencia pobre. Por otra parte el excesivo calentamiento de la leche antes de la precipitación puede causar interacciones entre los micronutrientes como es la lactosa, caseína y proteína sérica, observándose en la caseína en polvo un color amarillento o ligeramente café.

Para producir caseína de buena calidad bacteriológica sin un alto tratamiento térmico a la leche descremada, la planta pasteurizadora debe contar con una planta de micro filtración. Para

³⁷ Dairy Processing Handbook, capítulo 20, Casein, pp 394-402

satisfacer la alta demanda de calidad sobre la caseína que se utilizará para la industria alimenticia. Por otra parte, no únicamente se debe tener cuidado sobre las líneas de producción sino que además se debe tener precauciones y controles en la recepción de la leche, así como un estricto control en la producción de leche en los establos.

El proceso de elaboración de caseinato de sodio puede dividirse en tres etapas. 1) precipitación por acidificación, 2) neutralización y 3) secado.

En la primera etapa se calienta la leche descremada hasta una temperatura de aproximadamente 32°C. Se adiciona ácido mineral, ya sea, ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H₂SO₄) hasta alcanzar en la leche un pH de 4.3 – 4.6. En este valor de pH la leche descremada se acidifica hasta el punto isoeléctrico deseado de la caseína, (pH de 4.6 – 4.7). Aunque este punto puede cambiar por la presencia de sales insolubles y puede localizarse en un intervalo más extendido de pH, por ejemplo de 4.0 – 4.8. El punto isoeléctrico es la etapa donde la concentración del ión hidronio [H₃O⁺] neutraliza las micelas de caseína cargadas negativamente obteniendo como resultado la precipitación de los complejos de caseína.

Posterior a haber alcanzado el pH, la leche es calentada hasta los 40°C – 45°C en un intercambiador de placas, con un sostenimiento de casi dos minutos, en ese momento la separación de caseína empieza y para remover la mayor cantidad posible del suero antes de iniciar el lavado, el suero y la caseína son enviados a un decantador en donde obviamente el suero es el subproducto; por lo que el proceso requiere menos agua para el lavado.

En la etapa de la neutralización se utiliza comúnmente un álcali en la producción de caseinato de sodio, el álcali utilizado es el hidróxido de sodio (NaOH) en solución con una concentración de 2.5M o al 10%. La cantidad de hidróxido de sodio requerido es generalmente de 1.7% – 2.2% en peso de sólidos de caseína, para alcanzar un pH final aproximadamente de 6.7.

En la reacción del hidróxido de sodio con la caseína ácida se controla principalmente el valor de pH el cual no debe ser por arriba de 6.5 y en la solución final no debe exceder un pH de 6.7

Otros álcalis tales como el bicarbonato de sodio, citrato de sodio, hexametrafosfatos, pirofosfatos o tripolifosfato de sodio, pueden ser utilizados; sin embargo, las cantidades requeridas y los costos son mayores que al utilizar hidróxido de sodio, aunque en algunos casos se utilizan para elaborar productos muy específicos.

En la última etapa, el caseinato de sodio en solución es secado por atomización de igual manera como se seca la leche descremada fluida. Aunque para un mayor aprovechamiento en el proceso se debe tener una viscosidad constante (120 – 140 cp) a una temperatura de 90°C – 95°C justo antes de entrar al equipo de atomización, de lo contrario la eficiencia de secado se reduce significativamente. Después de secar el caseinato de sodio, es empacado en sacos de papel kraft de 25 kg para su distribución.

3.2.6.2 ESPECIFICACIONES DEL CASEINATO DE SODIO^{38, 39, 40, 41}**Tabla No. 17** ESPECIFICACIONES FÍSICOQUÍMICAS DEL CASEINATO DE SODIO

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Humedad, %	----	5	NOM-116-SSA1-1994
Proteínas, % (base seca)	94.0	----	NOM-155-SCFI-2003 – 8.5
Grasa butírica, %	1.0	1.5	NOM-086-SSA-1994 – aC
Lactosa, %	0.1	0.2	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Cenizas, %	----	4.5	Food Chemical Codex p 466
Sodio, %	1.2	1.4	NOM-086-SSA-1994 – aC
Calcio, %	----	0.1	NOM-155-SCFI-2003 – 8.11
Fierro, mg/kg	3	20	NOM-117-SSA1-1994
Cobre, mg/kg	1	2	NOM-117-SSA1-1994
Plomo, mg/kg	----	1	NOM-117-SSA1-1994
pH al 5% en solución	6.5	6.9	AOAC método 994.18

Tabla No. 18 ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS DEL CASEINATO DE SODIO

Parámetro Microbiológico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Mesofílicos aerobios, UFC/ml	----	20,000	NOM-092-SSA1-1994
Termofílicos aerobios, UFC/g	----	5,000	NOM-092-SSA1-1994
Hongos y levaduras, UFC/g	----	10	NOM-092-SSA1-1994
Estafilococo aureas UFC/g		Negativo	NOM-115-SSA1-1994
Coliformes totales, UFC/0.1g		Negativo	NOM-113-SSA1-1994
Salmonela, UFC/25g		Negativo	NOM-114-SSA1-1994

3.2.7 MONO Y DIGLICÉRIDOS

Los mono y diglicéridos que se utilizará en la formulación de la leche reconstituida son un emulsivo en escamas, grado alimenticio obtenido a partir de la esterificación de los ácidos grasos esteárico y palmítico con la glicerina.

³⁸ Dairy Processing Handbook, capítulo 20, Casein, pp 400

³⁹ <http://www.liusa.com/english/Specs/PDF/sodiumcaseinatespraydried.pdf> Lactalis Industrie U.S.A. Especificación de caseinato de sodio

⁴⁰ <http://www.idb.ie/products/SODCASE.HTM> Irish Dairy Board Inc. Especificación de caseinato de sodio

⁴¹ <http://www.americancasein.com/docs/Sodium%20Caseinate.doc> American Casein Company. Especificación de caseinato de sodio

En los grupos lácteos los monoglicéridos funcionan como emulsificantes del sistema agua-grasa-proteína, esto se logra gracias a su capacidad tensoactiva dada por la presencia de grupos polares (solubles en agua) y no polares (solubles en grasa) para formar una emulsión estable. Con esto se logra reducir al mínimo la separación de grasas durante el almacenamiento del producto.

En el mercado nacional existe una gran variedad de proveedores y una gran diversidad de productos, sin embargo el seleccionar el emulsificante adecuado requiere de pruebas y ensayos hasta la vida de anaquel.

3.2.7.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL MONO Y DIGLICERIDO⁴²

Comercialmente, los mono y diglicéridos son preparados por esterificación de glicerol con ácidos grasos o por alcoholólisis de triglicéridos con glicerol. Ambas reacciones son catalizadas por ácidos o más comúnmente por materiales alcalinos.

Después de la reacción de esterificación o alcoholólisis y de retirar el exceso de glicerina, ácidos grasos libres y agua, usualmente el contenido de monoglicéridos está alrededor del 30% – 50% y los diglicéridos se encuentran entre el 40% – 50%, el resto para completar el balance son los triglicéridos. El catalizador utilizado en la reacción es neutralizado y removido.

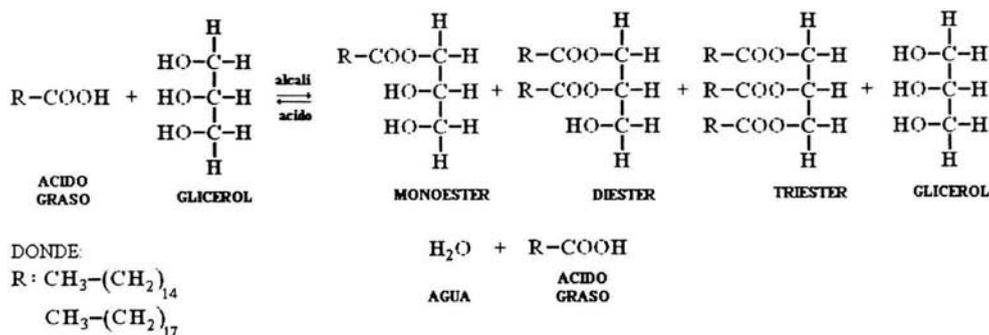
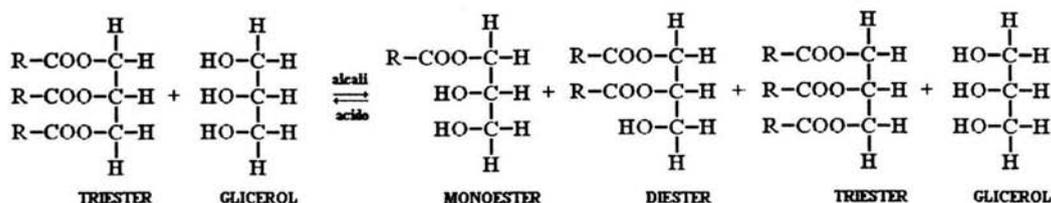


Figura No. 1 REACCIÓN DE ESTERIFICACIÓN ENTRE UNA MEZCLA DE ÁCIDOS GRASOS PALMÍTICO Y ESTEÁRICO CON GLICEROL

Los monoglicéridos son separados de los di y triglicéridos por destilación molecular. Comercialmente son productos libres de catalizadores, ácidos grasos y glicerina y tiene una pureza de 90% – 96% de monoglicéridos con un balance principalmente de diglicéridos en una concentración del 4% – 10%.

⁴² Arnold H. Jonhson, Ph.D. Martin S. Paterson, Ph. D. **Encyclopedia of Food Technology**, AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut 1974, vol. II, pp 365 -367



DONDE:

R: $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}$

$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{17}$

Figura No. 2 REACCIÓN DE ALCOHOLISIS (GLICEROLISIS) ENTRE UNA MEZCLA DE ÁCIDOS GRASOS PALMÍTICO Y ESTEÁRICO CON GLICEROL

Hay dos isómeros para los monoglicéridos y para los diglicéridos. El 1-monoglicérido es más estable que el 2-monoglicérido. Ambos existen en una concentración equilibrada que depende sobre la temperatura, normalmente la concentración del 2-monoglicérido no excede el 10% del total de los monoglicéridos. Similarmente el 1,2-diglicérido predomina sobre el 1,3-diglicérido.

3.2.7.2 ESPECIFICACIONES DEL MONO Y DIGLICÉRIDO⁴³

Tabla No. 19 ESPECIFICACIONES FISIQUÍMICAS DEL MONO Y DIGLICÉRIDOS DE LOS ÁCIDOS GRASOS

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
1-mono- glicéridos, %	50	----	AOAC Cd 11-57
Mono- glicéridos totales, %	90	----	Food Chemical Codex pp 506
Valor de yodo	----	0.05	Método Hanus o Wijs
Valor de saponificación	----	3	AOAC Te 1a-64 y Cd 3-25
Valor de acidez	----	6	AOAC Te 1a-64 y Cd 3a-63
Glicerina libre, %	----	7	AOAC Ca 14-16
Residuos por ignición, %	----	0.5	AOAC método 942.05

⁴³ Food Chemicals Codex, Thirty edition, National Academy Press, Washington D.C. 1981, pp 201, 504-506, 533

3.2.8 HIERRO AMINOÁCIDO QUELADO⁴⁴

A pesar de la preponderancia de investigaciones pasadas sobre el hierro, sigue habiendo un interés en los beneficios de suplementos con hierro en la dieta humana, particularmente en países en desarrollo. Quizás una de las razones para esto es que, de acuerdo con la organización mundial de la salud se estima que hay mil millones de personas que sufren de anemia a causa de una deficiencia de hierro. Esto ha estimulado un gran interés en el desarrollo de mejores dietas para prevenir la anemia por deficiencia de hierro en el mundo.

Muchas dietas que contienen una fuente de hierro son típicamente caracterizadas por una pobre biodisponibilidad del mineral. Suplementos de hierro inorgánico, como sulfato de hierro, fumarato ferroso, citrato ferroso, etc. Producen un indeseable efecto que incluye gastritis, diarrea, vomito, náusea etc. Cuando se mide la biodisponibilidad de un suplemento de hierro, se realiza bajo un procedimiento estándar para comparar la biodisponibilidad entre varios suplemento a examinar con hierro. La biodisponibilidad de sales de hierro es típicamente menor de 5% cuando se consume con una comida, a menos que la comida sea rica en ácido ascórbico.

Laboratorios Albion Inc. Clearfield, Utah, U.S.A, han desarrollado una forma de hierro patentado que tiene una biodisponibilidad y tolerancia que son mayores que las sales de hierro. Este suplemento de hierro es caracterizado por un catión ferroso el cual es enlazado a dos aminoácidos para formar un verdadero hierro quelado.

El hierro aminoácido quelado, es un polvo fino que consiste en hierro en su forma ferrosa y ha sido unido a dos moléculas de aminoácidos para formar una molécula compleja con anillos heterocíclicos entre el hierro y los aminoácidos. Bajo esta estructura quelada hay un notable mejoramiento en la biodisponibilidad del hierro, con una notable reducción en irritaciones gástricas y reacciones no deseadas con otros nutrientes alimenticios y fibras.

3.2.8.1 ESTRUCTURA MOLECULAR

La estructura molecular del hierro aminoácido quelado, es mostrada en la Figura No. 3. En la figura se observa que dos moléculas de aminoácidos llamados glicina, son unidas a un catión ferroso bajo un método patentado por laboratorios *Albion*. Los aminoácidos usados para llevar a cabo la reacción de quelación entre el catión ferroso y los aminoácidos son únicamente de grado USP. La molécula quelada consiste de dos anillos heterocíclicos que comparten un átomo de hierro. Los miembros que forman el anillo heterocíclico son, oxígeno y carbono por la parte del grupo carboxil al α -carbono, el α -nitrógeno desde la parte del grupo amino y el metal. La unión de puntos está arreglada con relación al átomo de hierro en una orientación tetraédrica.

⁴⁴ Albion Laboratories, Inc., **Ferrochel Technical Monograph**, Ferrochel 5/95 1.0. pp1-7, 9-12

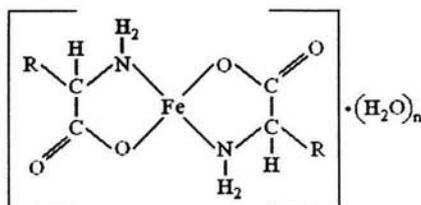


Figura No. 3 ESTRUCTURA BI-DIMENSIONAL DEL HIERRO BIS-GLICINATO, BASADA EN LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X ESTUDIADA POR EL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE BRIGHAM YOUNG (BYU), PROVO, UATH, U.S.A.

3.2.8.2 ESPECIFICACIONES DE HIERRO AMINOÁCIDO QUELADO

Tabla No. 20 ESPECIFICACIÓN FISIQUÍMICA DE HIERRO AMINOÁCIDO QUELADO

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método analítico
	mínimo	máximo	
Fierro (elemental por espectro de absorción atómica); %	20	22	AOAC, método 968.08
Color	Khaki, gris verdoso		Evaluación Sensorial
Textura	Polvo fino		Evaluación sensorial
Densidad (gravimetría); g/cm ³	0.860	1.130	NOM-155-SSA1-2003
Tamaño de partícula; 325 mesh; %		60	Malla certificada ASTM, #100, 200 y #325
Pérdida por ignición @ 8 h a 650°C; %	68	73	AOAC método 942.05
Nitrógeno Total; base seca método Kjeldahl %	8	13	AOAC método 955.04
Solubilidad @ 25°C	1g/2.5ml de H ₂ O destilada		U.S.P XIX método
Humedad @ 1 h a 110°C; %	----	7	AOAC método 934.01
pH @ 1% en agua destilada; 25°C	7	9	AOAC método 994.18

Como se mencionó en la sección de Estructura Molecular, el hierro aminoácido quelado está compuesto por un bis-glicinato quelado. El *codex* de la *Association of the American Feed Control Officials* (AAFCO) define al glicinato ferroso como "la reacción de una molécula equivalente de sal de ión ferroso y dos o más moléculas equivalentes de glicina, generalmente expresado como $\text{FeC}_4\text{N}_2\text{H}_8\text{O}_4$ ". Una típica composición de la preparación comercial de hierro aminoácido quelado como un Bis-glicinato quelado es mostrado en la Tabla No. 21

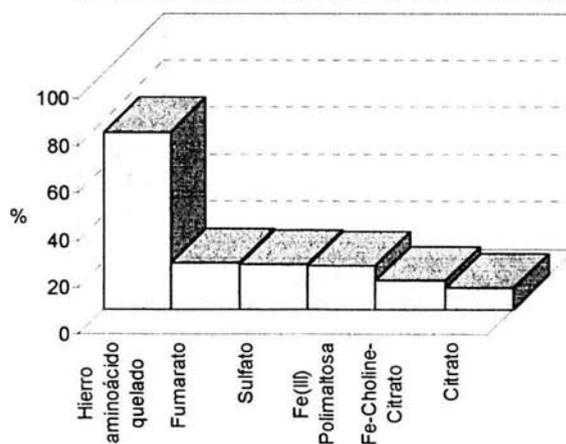
Tabla No. 21 TÍPICA COMPOSICIÓN DE UNA PREPARACIÓN COMERCIAL DE HIERRO AMINOÁCIDO QUELADO

Componente	Porcentaje
Fierro Bis-glicitato quelado	74.0%
Carbosil®, maltodextrina y ácido cítrico	19.0%
Humedad	7.0%
Total	100.0%

El hierro aminoácido quelado es producido por una reacción en solución acuosa y posteriormente secado para obtener así un polvo fino, bajo este procedimiento el hierro aminoácido quelado puede presentar ligeras variaciones de color y tamaño de partícula, lote a lote. *LABORATORIOS ALBION* ha establecido una especificación para asegura la mayor calidad del producto en cada parámetro fisicoquímico por cada lote que se elabore.

3.2.8.3 BIODISPONIBILIDAD DEL HIERRO AMINOÁCIDO QUELADO

Gráfica No. 1 ABSORCIÓN RELATIVA DE DIFERENTES COMPUESTOS DE HIERRO EN UN GRUPO DE 40 NIÑOS DE 6 A 36 MESES DE EDAD



La grafica No. 1 muestra la biodisponibilidad de hierro aminoácido quelado sobre otras fuentes de hierro de acuerdo con el Dr. Pineda el hierro aminoácido quelado tiene una biodisponibilidad de 70% – 75%⁴⁵.

⁴⁵ Albion, Research Notes, A compilation of Vital Research Updates on Human Nutrition, February, 1996, Volumen 5, No 1

3.2.8.4 DETERMINACIÓN DE HIERRO EN LA FÓRMULA

La ingesta diaria recomendada de hierro para niños de 1 a 3 años y adultos establecida por el instituto nacional de la nutrición "Salvador Subirán" es de 15 mg⁴⁶.

De acuerdo con esta información proponemos que el producto rehidratado ofrezca un 5.0% de la ingesta diaria recomendada por cada 240 ml de leche, Y tomando en cuenta que el hierro dentro de la formulación comercial es del 20% y la biodisponibilidad del hierro aminoácido quelado es del 70%. La cantidad de hierro aminoácido quelado que se debe adicionar a la leche será de:

$$15 \text{ mg} \times 5\% = 0.75 \text{ mg por cada 240 ml de leche}$$

$$\frac{0.75 \text{ mg} \times 1000 \text{ ml}}{240 \text{ ml} \times 20\% \times 70\%} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 0.0223 \text{ g de hierro aminoácido quelado por litro de leche}$$

3.2.9 VITAMINAS A Y D₃

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana **NOM-184-SSA1-002**, Especificaciones nutrimentales, sección 7. Todos los productos dentro de la norma deben contener 310 a 670 µg equivalentes de retinol/L (1033 a 2333 UI de vitamina A/litro) y de 5 a 7.5 µg de vitamina D₃ (200 a 300 UI de vitamina D₃ /litro) de forma natural o por restauración.

En nuestro caso la adición de vitaminas es por restauración, y de igual manera que con los otros ingredientes existen una gran diversidad de proveedores y mezclas de vitaminas. Para nuestro caso nosotros seleccionamos una premezcla vitamínica elaborada por **Nicholas Piramal Indian Limited**.

3.2.9.1 IMPORTANCIA DE LA VITAMINA A DENTRO DEL METABOLISMO HUMANO⁴⁷

La vitamina A proporciona protección a todo el ectodermo y es importante para el crecimiento, mantenimiento y funcionamiento de la piel y la membrana mucosa. La vitamina A juega un papel en la fase curativa de la piel dañada promoviendo la rápida generación del epitelio. También, es esencial para el crecimiento de cartílagos, hueso y para todo el desarrollo del esqueleto.

La vitamina A juega un papel decisivo en el proceso de reproducción. Todas las formas de vida requieren retinol para la reproducción. La vitamina A es requerida por la mujer para el

⁴⁶ Norma Oficial Mexicana **NOM-086-SSA1-1994** "Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales", Apéndice Normativo B

⁴⁷ **Basf Health & Nutrition**, Products for the Foods and Pharmaceutical Industry, Technical Information, BASF 1999, Pp 14, 15, 80, 81

desarrollo de la placenta y el feto. Los hombres requieren retinol y ácido retinoico para mantener la producción de espermatozoides en los testículos.

Otro papel importante de la vitamina A es su función como un componente para mejorar la visión nocturna, el retinol es convertido en retinal en la retina de los ojos y está se condensa con la lisina para producir aldimina, que cambia el producto de la luz receptora que es requerida para la visión nocturna. La vitamina A también protege de ataque bacteriano a la cornea y tiene una importancia en el sistema inmunológico.

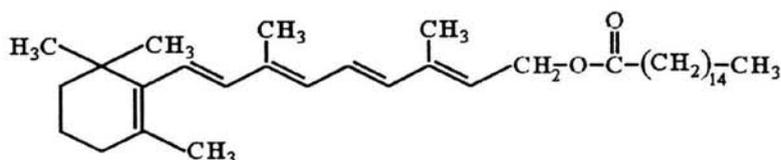


Figura No. 4 ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA VITAMINA A (PALMITATO)

3.2.9.2 IMPORTANCIA DE LA VITAMINA D₃ DENTRO DEL METABOLISMO HUMANO

La vitamina D₃ es conocida como la vitamina antirraquitismo. Junto con las hormonas calcitonas y paratiroides, que son requeridas para la regulación de calcio homeostésico y para el metabolismo del fosfato, son activadas por la vitamina D, calcitriol incrementa la absorción de calcio y fosfato desde el intestino, regula la eliminación de calcio y fósforo vía el hígado y controla la incorporación de calcio y fósforo en el esqueleto para mantener el contenido de minerales en los huesos.

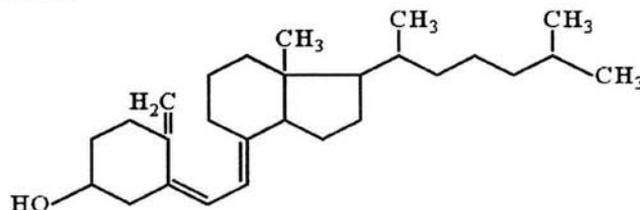


Figura No. 5 ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA VITAMINA D₃ (COLECALCIFEROL)

3.2.9.3 DETERMINACIÓN DE VITAMINAS A Y D₃ EN LA FÓRMULA

Para determinar el contenido de la mezcla vitamínica en la formulación, hay que tomar en cuenta factores de degradación por proceso y tiempo de almacenamiento conocido como vida útil del producto, la degradación por procesos es localizada en dos puntos, la pasteurización y el tratamiento UHT para cada uno se estima una degradación del 20% y 30% respectivamente en ambas vitaminas, sin embargo estos valores se deben recalcular en un proceso particular. Por otra parte la degradación por el tiempo de almacenamiento es variable y está en función de

la temperatura de almacenamiento del Brik por lo que en este sentido se debe realizar pruebas en los lugares más extremos para determinar el porcentaje de degradación por almacenamiento. En este sentido la fórmula debe ser sobredosificada en ambas vitaminas⁴⁸.

La base de cálculo se fijará con el máximo permitido de vitamina D₃ – ver tabla No.1 y especificaciones de vitaminas – obteniéndose los siguientes resultados:

$$300 \text{ UI} \times \frac{1 \text{ g}}{100,000 \text{ UI}} = 0.003 \text{ g de mezcla de vitaminas}$$

$$0.003 \times 0.20(\text{pasteurización}) + 0.003 \times 0.3(\text{UHT}) = \\ = 0.0015 \text{ g de mezcla de vitaminas por sobredosificación}$$

Por lo que la cantidad total de mezcla vitamínica que se debe adicionar a un litro de leche es: $0.0015 + 0.003 = 0.0045 \text{ g}$, con estas cantidades se asegura que después de la pasteurización y el tratamiento UHT el producto contenga 300UI de vitamina D₃ y 3000UI de vitamina A.

$$0.003 \text{ g} \times \frac{1,000,000 \text{ UI}}{1 \text{ g}} = 3,000 \text{ UI de vitamina A}$$

La vitamina A después de la pasteurización y tratamiento UHT con la sobredosificación se espera que se encuentre aproximadamente en 3000UI ligeramente por arriba de la especificación; sin embargo la leche después de ser producida y envasada tiene que pasar por un período de 7 días bajo observación para su liberación y distribución, en este tiempo la degradación continúa, y de hecho nunca se detiene, por lo que con esta pequeña sobredosificación se asegura que el producto cumple con la especificación de ambas vitaminas. Sin embargo debemos verificar si esta sobredosificación es suficiente para el período de vida de anaquel, de lo contrario se debe reajustar la sobredosificación.

3.2.9.4 ESPECIFICACIONES DE LA VITAMINA A Y D₃

Tabla No. 22 ESPECIFICACIÓN DE LA PREPARACIÓN CON VITAMINAS A Y D₃⁴⁹

Parámetro Físicoquímico	Especificación		Método Analítico
	mínimo	máximo	
Vitamina A, UI/g	1,000,000.00	-----	Food Chemical Codex pp 342
Vitamina D ₃ , UI/g	100,000.00	-----	Food Chemical Codex pp 346
Acidez como ácido oleico, %	-----	1.0	AOAC Te 1a-64 y Cd 3a-63
Valor de peróxido, %	-----	10.0	Food Chemical Codex pp 342

⁴⁸ Nicholas Piramal India Limited, Milk Fortification with vitamins A & D₃.

⁴⁹ Nicholas Piramal India Limited, Especificaciones de vitamina A & D₃

3.3 FÓRMULA

En esta sección presentaremos dos fórmulas, una a partir solamente de leche descremada en polvo, grasa butírica anhidra, emulsificante (mono y diglicéridos), hierro aminoácido quelado, vitamina A y D₃, comúnmente se conoce esta fórmula como rehidratada. La otra fórmula será la leche reconstituida, que además de contener los ingredientes para una leche rehidratada contiene sólidos de mantequilla, suero dulce en polvo al 12%, y caseinato de sodio. Esta fórmula además de igualar las características fisicoquímicas y sensoriales de una leche no rehidratada, es más económica que una leche rehidratada.

3.3.1 BALANCE FISICOQUÍMICO

Para cumplir con el balance fisicoquímico es importante conocer la aportación de cada uno de los ingredientes con relación a los sólidos no grasos (SNG), sólidos grasos (SG), carbohidratos, humedad, proteína, tanto en su forma sérica y como caseína, esto último es importante ya que como proteína total se debe satisfacer en la fórmula 30 g/litro de leche (ver tabla No.1) con un contenido mínimo de caseína como proteína de 21 g/litro de leche. La tabla No. 23 Se muestra la aportación de SNG, SG, lactosa, humedad y proteína de cada uno de los ingredientes. Las aportaciones se obtienen de las especificaciones de cada una de las materias primas o en algunos casos se pregunta al proveedor que nos proporcione estas aportaciones.

Tabla No. 23 APORTACIÓN DE SNG, SG, LACTOSA, HUMEDAD Y PROTEÍNA SÉRICA Y CASEÍNA

Ingredientes	SNG, %	SG, %	Lactosa, %	Humedad, %	Proteína, %	
					Caseína	Sérica
Agua suavizada	---	---	---	100.00	---	---
Leche descremada en polvo	95.40	0.60	50.00	4.00	27.20	6.80
Sólidos de mantequilla	84.90	11.10	44.00	4.00	24.80	6.20
Suero dulce en polvo 12%	95.00	1.00	70.00	4.00	---	12.00
Grasa butírica	---	99.90	---	0.10	---	---
Caseinato de sodio	94.00	1.00	0.10	5.00	88.36	---
Mono y diglicéridos	---	99.90	---	0.10	---	---
Hierro aminoácido quelado	93.00	---	---	7.00	---	---
Vitamina A y D ₃	---	99.90	---	0.10	---	---

Nota: las celdas que contiene tres guiones seguido (---) significan que el ingrediente no realiza la aportación de acuerdo con el título de la columna

Como ya sabemos la aportación de cada uno de los ingredientes podemos empezar a diseñar la fórmula cumpliendo básicamente con los parámetros de la tabla No.1. los cuales se vieron en el inciso 3.1

Tabla No. 24 ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS PARA UNA LECHE RECONSTITUIDA PARCIALMENTE DESCREMADA

Parámetro Fisicoquímico	Especificación	
	mínimo	máximo
Densidad @ 15°C, g/ml	1.029	----
Grasa butírica, g/L	6	28
Acidez (como ácido láctico), g/L	0.9	1.5
Sólidos no grasos de la leche, g/L	83	----
Lactosa, g/L	43	50
Proteínas propias de la leche, g/L	30	----
Caseína, g/L	21	----
Punto crioscópico, m°H	-0.550	-0.520
Vitamina A, UI/L	1033	2333
Vitamina D ₃ , UI/L	200	300

El balance de materia para cada de los ingredientes se realiza utilizando una hoja de cálculo de Excel, se multiplica la cantidad de los ingredientes por su porcentaje de aportación de acuerdo con la tabla No. 23, y a través de un procedimiento iterativo se van sustituyendo cantidades hasta obtener los totales especificados en la tabla No. 24. Los resultados para una leche rehidratada se encuentran en la tabla No. 25 y para una leche reconstituida en la tabla No. 26. – El balance en las tablas No.25 y No. 24 se cumple únicamente verticalmente –.

Tabla No. 25 FÓRMULA DE UNA LECHE REHIDRATADA

Ingredientes	Cantidad g	SNG g	SG g	Lactosa, g	Humedad g	Proteína, g	
						Caseína	Sérica
Agua suavizada	924.2732	0.000	0.000	0.000	924.273	0.000	0.000
LDP	90.0000	85.860	0.540	45.000	3.600	24.480	6.120
Grasa butírica	14.1000	0.000	14.086	0.000	0.014	0.000	0.000
Mono y diglicéridos	1.6000	0.000	1.598	0.000	0.002	0.000	0.000
Hierro aminoácido quelado	0.0223	0.021	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Vitamina A y D ₃	0.0045	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	1030.000	85.881	16.229	45.000	927.890	24.480	6.120

La proteína total es: 24.480 g + 6.120 g = 30.60 g

La relación de proteínas para la fórmula de leche rehidratada es:

$$\text{Caseína} = \frac{24.480}{24.480 + 6.120} \times 100 = 80.00 \%$$

$$\text{Sérica} = \frac{6.120}{24.480 + 6.120} \times 100 = 20.00 \%$$

Tabla No. 26 FÓRMULA LECHE RECONSTITUIDA

Ingredientes	Cantidad g	SNG g	SG g	Lactosa, g	Humedad g	Proteína, g	
						Caseína	Sérica
Agua suavizada	924.3732	0.000	0.000	0.000	924.373	0.000	0.000
Leche descremada en polvo	25.0000	23.850	0.150	12.500	1.000	6.800	1.700
Sólidos de Mantequilla	46.0000	39.054	5.106	20.240	1.840	11.408	2.852
Suero dulce en polvo 12%	18.0000	17.100	0.180	12.600	0.720	0.000	2.160
Grasa butírica	9.2000	0.000	9.191	0.000	0.009	0.000	0.000
Caseinato de sodio	5.8000	5.452	0.058	0.006	0.290	5.125	0.000
Mono y diglicéridos	1.6000	0.000	1.598	0.000	0.002	0.000	0.000
Hierro aminoácido quelado	0.0223	0.021	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Vitamina A y D ₃	0.0045	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	1030.000	85.477	16.288	45.346	928.269	23.333	6.712

La proteína total es: 23.333 g + 6.712 g = 30.045 g

La relación de proteínas para fórmula de leche reconstituida es:

$$\text{Caseína} = \frac{23.333}{23.333 + 6.712} \times 100 = 77.66 \%$$

$$\text{Sérica} = \frac{6.712}{23.333 + 6.712} \times 100 = 22.34 \%$$

La fórmula reconstituida que acabamos de presentar no es única, ya que puede ser diseñada con otros ingredientes, por ejemplo, en lugar de utilizar grasa butírica anhidra se puede sustituir por grasa vegetal, esto obviamente tiene cambios en el sabor y el costo de la formulación se reduce significativamente. Sin embargo estos cambios se deben validar de acuerdo a un análisis de aceptación del cliente con ayuda de técnicas de evaluación sensorial del producto.

Tabla No. 27 COMPARACIÓN ENTRE LA FÓRMULA DE LECHE REHIDRATADA, LECHE RECONSTITUIDA Y ESPECIFICACIONES

Parámetro Físicoquímico	Valor mínimo de especificación	Fórmula de leche rehidratada	Fórmula de leche reconstituida	Valor máximo de especificación
Densidad @ 15°C, g/ml	1.029	1.030	1.030	----
Grasa butírica, g/L	16.2	16.229	16.288	16.8
Acidez (como ácido láctico), g/L	0.9	—	—	1.5
Sólidos no grasos de leche, g/L	83	85.881	85.477	----
Lactosa, g/L	43	45.000	45.346	50
Proteínas propias de leche, g/L	30	30.600	30.045	----
Caseína, g/L	21	<u>24.480</u>	<u>23.333</u>	----
Punto crioscópico, m°H	-0.550	—	—	-0.520
Vitamina A, UI/L	1033	3000	3000	2333
Vitamina D ₃ , UI/L	200	300	300	300

Como se puede apreciar en ambas formulaciones. – Tabla No. 27 –. Se cumple con los requisitos especificados de valor mínimo en sólidos no grasos el cual debe ser como mínimo de 83 g/litro, proteína total de 30 g/litro como mínimo y se planteo un contenido de grasa total de 16.5 ± 0.3 para las dos formulaciones.

En el caso de la acidez ésta se debe determinar experimentalmente después del tratamiento UHT por medio de una titulación ácido-base con fenolftaleína. De igual manera el punto crioscópico se debe determinar experimentalmente, el método de análisis se encuentra el anexo 6.1.

La principal diferencia entre las fórmulas a nivel físicoquímico es el contenido de caseína y por lo tanto su relación de proteínas caseína-serica en la fórmula de leche rehidratada esta relación esta en un 80% – 20% mientras que en la fórmula reconstituida la relación cambia a 77.66% – 22.34%.

Otro punto importante a validar dentro de la formulación es el contenido de vitaminas A y D₃ y la vida de anaquel del producto. Como se estudiará en el capítulo 4, las vitaminas se adicionan antes de la etapa de pasteurización y tratamiento UHT por lo que se debe monitorear la degradación que sufre cada vitamina después de ambos tratamientos térmicos y durante la vida de anaquel del producto que se haya determinado.

En la vida de anaquel principalmente se deben evaluar la parte sensorial, aceptación del consumidor y la parte nutricional, en este caso la degradación de vitaminas no debe ser menor a lo especificado como valor mínimo.

3.3.2 Costos

El costo de cada uno de los ingredientes es puede variar durante el año, principalmente porque durante la demanda de leche en el invierno las vacas producen menos leche y hay más demanda de producto rehidratado y/o reconstituido. Caso opuesto durante la primavera-otoño que el costo de los ingredientes es relativamente más económico. Los costos aquí presentados fueron cotizados por proveedores durante el mes de diciembre del 2003.

Tabla No. 28 COSTOS, DE FORMULACIÓN LECHE REHIDRATADA

Ingredientes	Cantidad g	\$ usd/kg	\$ usd/litro
Agua suavizada	924.2732	0.001	0.0008
Leche descremada en polvo	90.0000	2.000	0.1800
Grasa butírica	14.1000	2.000	0.0282
Mono y di glicéridos	1.6000	1.455	0.0023
Hierro aminoácido quelado	0.0223	45.000	0.0010
Vitamina A y D ₃	0.0045	80.000	0.0004
TOTAL	1030.000		\$ 0.2124 usd

Tabla No. 29 COSTOS, DE FORMULACIÓN LECHE RECONSTITUIDA

Ingredientes	Cantidad g	\$ usd/kg	\$ usd/litro
Agua suavizada	924.3732	0.001	0.0008
Leche descremada en polvo	25.0000	2.000	0.0500
Sólidos de Mantequilla	46.0000	1.900	0.0874
Suero dulce en polvo 12%	18.0000	0.818	0.0147
Grasa butírica	9.2000	2.000	0.0184
Caseinato de sodio	5.8000	5.200	0.0302
Mono y di glicéridos	1.6000	1.455	0.0023
Hierro aminoácido quelado	0.0223	45.000	0.0010
Vitamina A y D ₃	0.0045	80.000	0.0004
TOTAL	1030.000		\$ 0.2052 usd

La diferencia entre ambos costos de formulación es la siguiente:

$$0.2124 - 0.2052 = \mathbf{0.0072} \text{ dólares por litro}$$

Como observamos el costo total de los ingredientes para una leche reconstituida parialmentedescremada, enriquecida con hierro aminoácido quelado, vitamina A y D₃ es de \$0.2052 usd si este valor lo multiplicamos por una tasa de cambio de \$11.00 pesos mexicanos obtenemos que el producto tiene un costo de:

$$\$0.2052 \text{ usd} \times \left(\frac{\$11.0 \text{ mn}}{\$1.0 \text{ usd}} \right) = \$2.2552 \text{ mn}$$

Una leche fresca (leche magra) de establo tiene un precio – colocada en las instalaciones de la planta, – que oscila entre los \$ 3.20 – \$ 3.60 mn éste precio varia dependiendo de la calidad de la leche y distancia de los centros de ordeña hacia la planta.

Ambas fuentes – leche fresca por una parte y todos los ingredientes para elaborar la leche reconstituida por otra – son considerados como materia prima, con la diferencia entre ambas fuentes de que a la leche fresca todavía no se enriquece con el hierro aminoácido quelado y las vitaminas A y D₃, por lo que a éste precio de leche fresca se le debe sumar el precio del hierro aminoácido quelado y ambas vitaminas dando un total de:

$$(\$0.0010 \text{ usd hierro} + \$0.0004 \text{ usd vitaminas}) \times \left(\frac{\$11.0 \text{ mn}}{\$1.0 \text{ usd}} \right) = \$0.0154 \text{ mn}$$

Ahora bien, si comparamos ambos precios se puede hablar de un ahorro promedio entre la leche fresca y los ingredientes para una leche reconstituida de:

$$\left[\left(\frac{\$3.20 + \$3.60}{2} \right) + \$0.0154 \right] - \$2.2552 = \$1.1602 \text{ mn por litro de leche}$$

Ambos productos pasan por las mismas etapas de manufactura, tales como rehidratación, (en el caso de la leche fresca se requiere de está área para adicionar el hierro aminoácido quelado y las vitaminas A y D₃ si fuera el caso de enriquecerla), pasteurización, tratamiento UHT y envasado aséptico para alcanzar la calidad aséptica. Por lo que si consideramos los gastos y costos de producción, almacenamiento y distribución como una constate, podemos plantear un precio al consumidor equivalente al ahorro obtenido en las materias primas utilizadas para éste producto.

Considerando que una leche semidescremada de leche de vaca de la marca líder oscila entre los \$8.10 – \$8.30 pesos podríamos plantear un precio promedio optativo al público de:

$$\left(\frac{\$8.10 + \$8.30}{2} \right) - \$1.1602 = \$7.04 \text{ mn por litro de leche}$$

Casi un peso menos que la competencia considerando que ésta leche reconstituida ofrece las propiedades del hierro aminoácido quelado para combatir la anemia.

4. DESARROLLO DEL PROCESO

Después de que la fórmula de leche reconstituida, parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado y vitamina A y D₃, ha sido satisfactoria sensorial y económicamente rentable. El siguiente paso, es la elaboración del producto a escala industrial para su comercialización.

Quien define la demanda del producto desde el punto de vista ventas son los responsables de *Marketing* ya que ellos a través de evaluaciones con el consumidor y conocimiento del mercado saben pronosticar el volumen a producir para invadir el mercado con la nueva leche reconstituida. La demanda de producto de una manera práctica se puede calcular de la siguiente manera: De acuerdo con el Censo de Población del 2000⁵⁰, la República Mexicana cuenta con 97,483,412 habitantes, si clasificamos a éstos habitantes conforme a la Encuesta Nacional de Nutrición de 1999 obtendremos la población con prevalencia de anemia, ver tabla No. 30.

Tabla No. 30 HABITANTES CON PREVALENCIA DE ANEMIA

Clasificación de acuerdo con la ENN 1999	Habitantes	% de anemia	Habitantes con prevalencia de anemia
Niños y niñas entre 1 – 4 años	8,573,756	27.2	2,332,053
Niños y niñas entre 5 – 11 años	17,745,091	19.5	3,460,293
Mujeres entre los 12 – 49 años	28,136,515	20.2	5,683,576
Total			11,475,922

Con esta información se concluye que existe una prevalencia de anemia de 11,475,922 habitantes en el ámbito nacional, si cada habitante tomará en promedio 240 ml diariamente como está señalado en la tabla de nutrimental se tendrían que consumir:

$$11,475,922 \times 0.240 = 2,754,221 \text{ litros de leche por día}$$

Si de los 2,754,221 litros de leche que se requieren consumir por día, por lo menos se tuviera entre el 10% –12% del mercado se tendrían que elaborar entre 275,422 – 330,506 litros de leche reconstituida parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado por día para satisfacer la demanda.

⁵⁰ INEGI

Es importante recalcar que una planta de productos lácteos de larga vida no se enfoca exclusivamente en la manufactura de productos rehidratados y/o reconstituidos, sino que tiene una gran variedad de productos no rehidratados con ingredientes funcionales y/o sabores que se procesan en los mismos sistemas equipo-proceso, por lo que en algunos casos pareciera que los equipos están sobrados en su capacidad de producción. En este sentido presentaremos los sistemas equipo-proceso exclusivamente para la elaboración de leches rehidratadas y/o reconstituidas con sus capacidades reales y parámetros de operación.

El proceso de UHT (*Ultra High Temperature*) y envasado aséptico es el más crítico dentro de la industria láctea de productos de larga vida por que es aquí donde se logra el nivel mínimo de microorganismos y se debe conservar la leche con éstas características hasta el envasado para garantizar una esterilidad comercial en el producto que se distribuye a los consumidores. Además, éste sistema equipo-proceso es el que define el volumen de producción de los productos de larga vida. Es decir, en un caso real debemos conocer las siguientes características del proceso de UHT y envasado aséptico para poder definir el volumen de leche que se puede elaborar para cumplir con la demanda establecida de 275,422 – 330,506 litros de leche reconstituida.

- PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO: Envase aséptico Tetra Pak clásico tipo m de 1 litro.
- NÚMERO DE MÁQUINAS ENVASADORAS: 3.
- VELOCIDAD DE DISEÑO DE MÁQUINAS ENVASADORAS TBA-8: 6,000 litros por hora.
- EFICIENCIA DE MÁQUINAS ENVASADORAS: 0.91.
- VELOCIDAD REAL DEL EQUIPO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO UHT: 18,000 litros por hora.
- CICLO DE LIMPIEZAS: 2 intermedias y 1 final, cada limpieza con una separación de 6 horas.
- DÍAS DE PRODUCCIÓN POR SEMANA: 2 (propuesto)

Con esta información podemos saber exactamente el volumen envasado por lote óptimo, La definición de lote óptimo es muy importante ya que de ello depende el volumen de leche envasada al menor costo de producción.

El lote óptimo en procesos U.H.T. por definición es la producción que cumple un ciclo de limpieza, los ciclos de limpieza pueden ser diferentes y depende del tipo de producto y en específico de sus características reológicas.

Las limpiezas generalmente son a través de sistemas CIP (*Clean In Place*), tanto en el equipo de UHT como en las máquinas envasadoras asépticas. Pero definitivamente el equipo que requiere un mejor sistema de limpieza es el equipo para tratamiento UHT, ya que es ahí donde se depositan los residuos de leche tales como: proteínas, grasas, calcio etc., y para optimizar al máximo la productividad del equipo UHT se recomienda casi siempre tener dos limpiezas intermedias y una limpieza final, con una separación entre cada limpieza de seis horas.

La limpieza intermedia 1, es aquella que se realiza después de seis horas de producción y consiste de los siguientes pasos:

- Recircular agua en el equipo UHT y calentarla hasta los 75°C.
- Dosificar sosa cáustica hasta alcanzar en el equipo una concentración dentro del intervalo de 0.5% – 1.5%.
- Recircular la sosa cáustica por lo menos durante 30 minutos a la temperatura de 75°C.
- Enjuagar el equipo hasta eliminar el exceso de sosa cáustica.
- Verificar eliminación de sosa cáustica y programar el equipo para producción.

Después de otras seis horas de producción – 12 horas de producción total – se realiza la limpieza intermedia 2 siguiendo los mismos pasos que en la limpieza intermedia 1.

La limpieza final⁵¹ se realiza después de otras seis horas de producción – 18 horas de producción total – con sosa cáustica y ácido nítrico o detergentes formulados y dura generalmente 4 horas, y consiste en los siguientes pasos:

- Recircular agua en el equipo UHT y calentarla hasta los 75°C.
- Dosificar sosa cáustica hasta alcanzar en el equipo una concentración dentro del intervalo de 1.0% – 2.0%.
- Recircular la sosa cáustica por lo menos durante 45 minutos a la temperatura de 75°C.
- Enjuagar el equipo hasta eliminar el exceso de sosa cáustica.
- Recircular agua en el equipo UHT y calentarla hasta los 70°C.
- Dosificar ácido nítrico hasta alcanzar en el equipo una concentración dentro del intervalo de 0.5% – 1.0%.
- Recircular la ácido nítrico por lo menos durante 30 minutos a la temperatura de 70°C.
- Enjuagar el equipo hasta eliminar el exceso de ácido nítrico.
- Verificar eliminación de ácido nítrico y programar el equipo para producción.

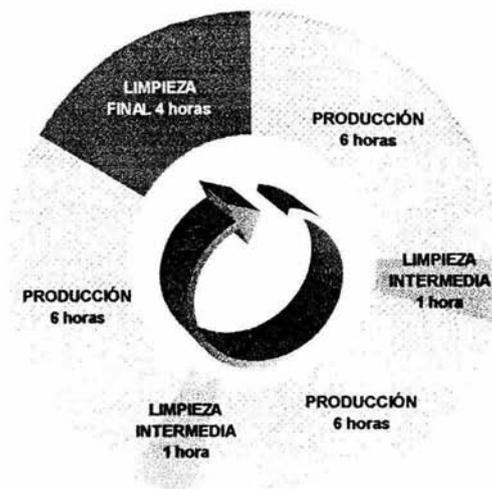
En algunos casos después de la limpieza final se puede realizar una sanitización con oxonia⁵² para eliminar del sistema bacterias termofílicas muy resistentes (esporas). Este tipo de sanitizaciones se recomienda realizarlas después de procesar productos rehidratados y/o reconstituídos debido a que los polvos, por sus procesos de elaboración, pueden contener un exceso de esporas.

⁵¹ Dairy Processing Handbook, capítulo 21, Cleaning of dairy equipment, pp 409

⁵² Jairus R.D. David; Ralph H. Graves; V.R. Carson; Aseptic Processing and Packaging of Food, CRC Press U.S.A. 1996 pp 92

Para determinar el volumen de un lote óptimo planteamos que la producción se comporta para este producto de acuerdo con el siguiente ciclo de producción-limpieza.

FIGURA No. 6 CICLO PRODUCCIÓN-LIMPIEZA



Lote óptimo = No. de máquinas x Vel. envasado x horas de producción x eficiencia

$$\text{Lote óptimo} = 3 \times 6,000 \times (6 \times 3) \times 0.91 = 294,840.00 \text{ litros}$$

Por lo que el lote óptimo para este producto es de 294,840.00 litros de leche rehidratada por cada 24 horas de producción. Si consideramos una merma intrínseca de producto de 5,160 litros de leche (1.72%) desde la rehidratación hasta el envasado, por cada 24 horas se deben preparar 300,000.00 litros de leche para satisfacer el lote óptimo. Con este dato observamos que estamos dentro del rango de demanda propuesto de 275,422 – 330,506 litros de leche reconstituida y enriquecida con hierro aminoácido quelado.

La merma intrínseca de producto es inherente al proceso, equipo, longitud de tubería, y está muy relacionada con los paros y arranques de los equipos (ciclo producción – limpieza). La merma intrínseca de producto que se presentó es un promedio obtenido de una planta real que cuenta con una capacidad de producción semejante. Sin embargo la validación de la merma intrínseca es rigurosa en el caso de cálculo de costos en situación real y cambia si el ciclo de producción – limpieza cambia.

Desde el punto de vista del lote óptimo y de acuerdo con los días pronosticados de producción durante un mes se tendrá 8 días de producción real con la elaboración de leche reconstituida por lo que un mes se tendrá un volumen total de:

$$\begin{aligned} \text{Producción por mes (sin incluir merma)} &= \text{lote óptimo} \times 8 \\ &= 294,840.00 \times 8 = 2,358,720.00 \text{ litros mensuales} \end{aligned}$$

Otro cálculo importante está en función de la merma intrínseca en este caso la merma durante las ocho producciones será de:

$$\begin{aligned} \text{Merma por mes} &= \text{merma intrínseca} \times 8 \\ &= 5,160 \times 8 = 41,280.00 \text{ litros mensuales de merma intrínseca} \end{aligned}$$

Con esta información se debe recalcular el costo por litro de producto el cual incluirá la merma intrínseca, es decir el costo por litro calculado debe dividirse por el siguiente factor.

$$\frac{294,840.00}{294,840.00 + 41,280.00} = 0.9828$$

4.1 DIAGRAMAS

En el presente trabajo se mostrarán principalmente 6 diagramas:

- 1 Diagrama de Bloques
- 5 Diagramas de Flujo
 - ~ Proceso de suavización del agua
 - ~ Rehidratación de ingredientes
 - ~ Pasteurización
 - ~ Tratamiento térmico UHT
 - ~ Almacenamiento en tanque aséptico y envasado aséptico

4.1.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

En el diagrama de bloques podemos observar que el proceso se divide en cinco etapas básicas, las cuales están prácticamente en línea.

La primera etapa describe la generación de agua con características únicas para la rehidratación de polvos lácteos, en esta etapa el agua tiene una desinfección química con hipoclorito de sodio al 13%, seguida por dos filtraciones, una con arena y posteriormente con carbón activado, después, la suavización de agua intercambiando iones calcio $[Ca^{++}]$ y magnesio $[Mg^{++}]$, y finalmente una desinfección con rayos U.V., el agua al salir de este proceso

está lista para el proceso de rehidratación, aunque primero se almacena en tanques para que este disponible al momento de producción.

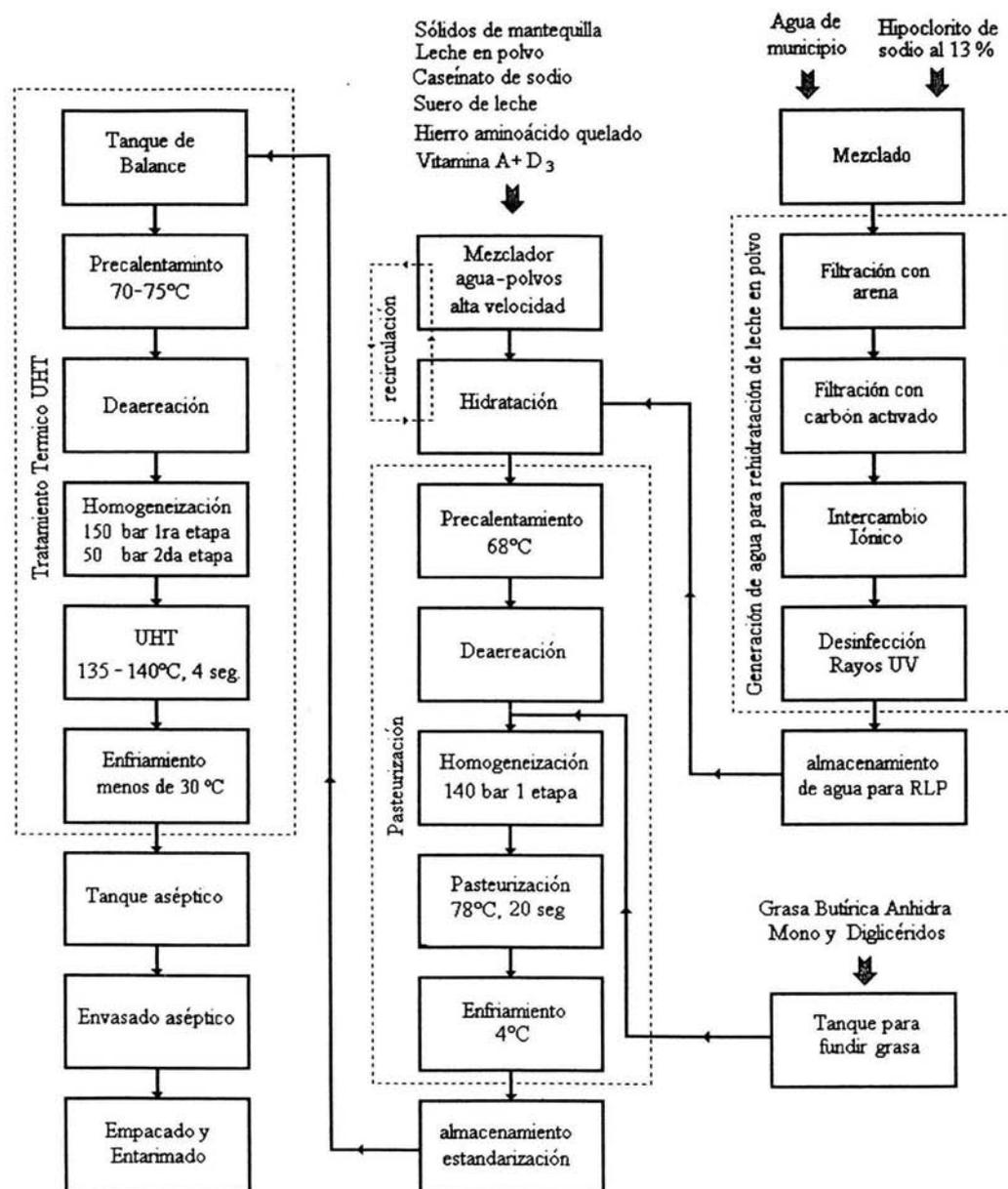
Hay que observar que en la etapa de rehidratación de polvos, - que es la segunda -, solo los ingredientes solubles son adicionados a través de una mezcladora de alta velocidad, la cual está conectada en recirculación con el tanque donde se realiza la rehidratación, en esta etapa se cuida el orden de adición de ingredientes, la temperatura del agua y el tiempo de rehidratación.

Los ingredientes no solubles son adicionados en esta tercera etapa (pasteurización) justo antes de la homogeneización, es decir la leche rehidratada se calienta hasta una temperatura de 68°C, posteriormente se elimina el exceso de aire que se introdujo en el mezclado a través de un equipo de deaeración, paralelo a este proceso, los ingredientes no solubles (grasa butírica anhidra, mono y di glicéridos) se funden y calientan a 68°C en un tanque diseñado para tal propósito, esta segunda corriente se dosifica por medio de una mezcladora en línea a la corriente principal justo antes de que el producto premezclado entre al homogeneizador. A partir de este punto la leche rehidratada está prácticamente elaborada, lo que sigue es la eliminación de microorganismos hasta obtener un producto con esterilidad comercial. Se inicia con una pasteurización a 78°C, con sostenimiento de 20 segundos, posteriormente se enfría y almacenan a 4°C para que la leche no experimente cambios en la acidez.

De igual manera que en la pasteurización el proceso de UHT tiene los mismos pasos con la diferencia de que los parámetros de proceso, son más extremos es decir la temperatura de UHT está en el rango de 130°C – 140°C con un sostenimiento de 4 segundos, prácticamente en este equipo se alcanza la esterilidad comercial del producto para su comercialización, por otra, al salir la leche esterilizada se debe prevenir la reinfeción de la leche porque perdería su esterilidad comercial y su tiempo de vida útil se reduciría significativamente.

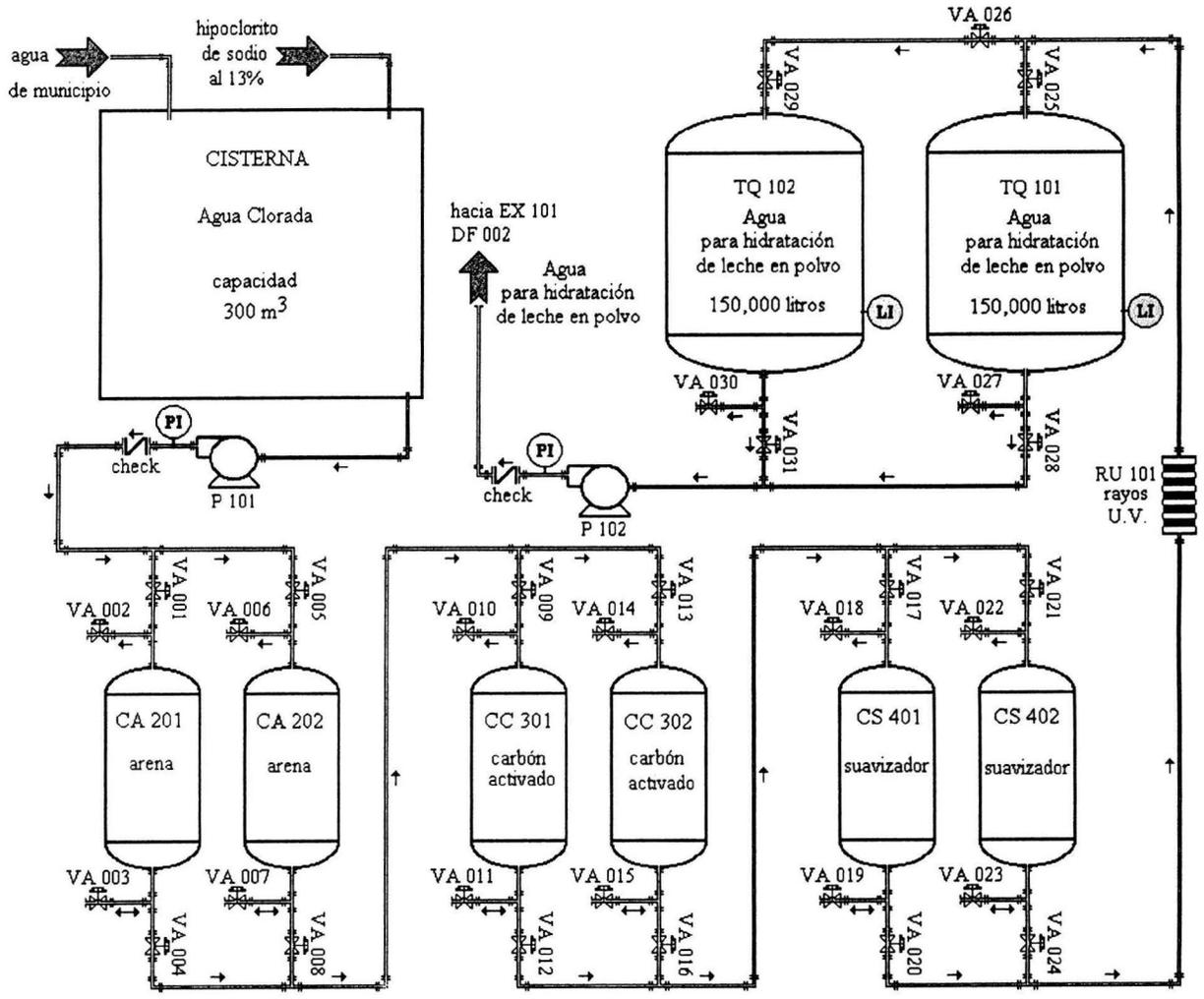
Finalmente la leche entra a un tanque aséptico que tiene como objetivo ser un tanque de balance herméticamente sellado para prevenir de la reinfeción de microorganismos, posteriormente, desde el tanque aséptico se pasa la leche a las máquinas envasadoras para obtener la presentación final para el consumidor.

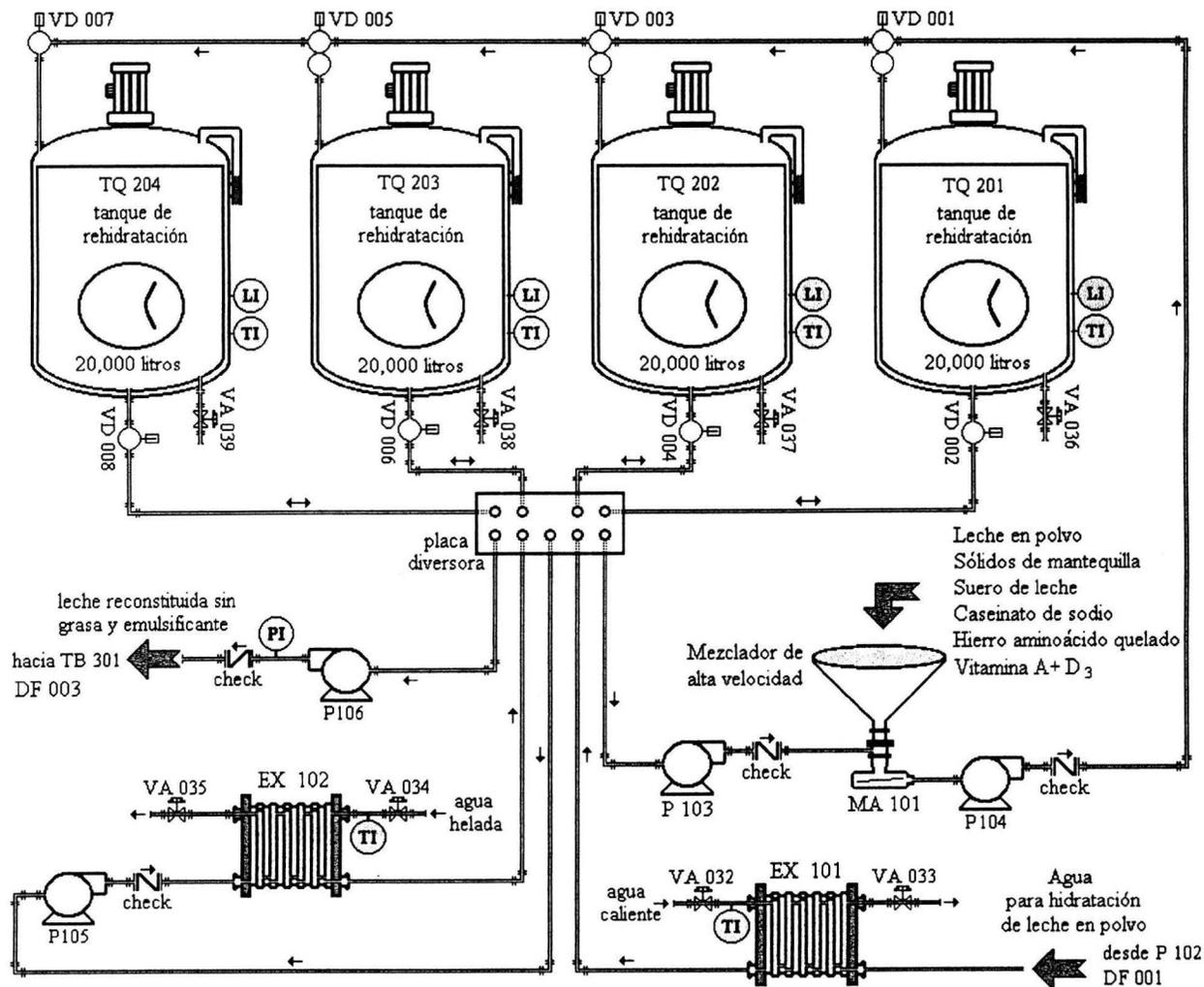
Diagrama de Bloques DB 001
Leche Reconstituida Parcialmente Descremada
Enriquecida con Hierro Aminoácido Quelado y Vitamina A y D₃



4.1.2 DIAGRAMAS DE FLUJO

Diagrama de Flujo DF 001
GENERACIÓN DE AGUA PARA REHIDRATAR LECHE EN POLVO





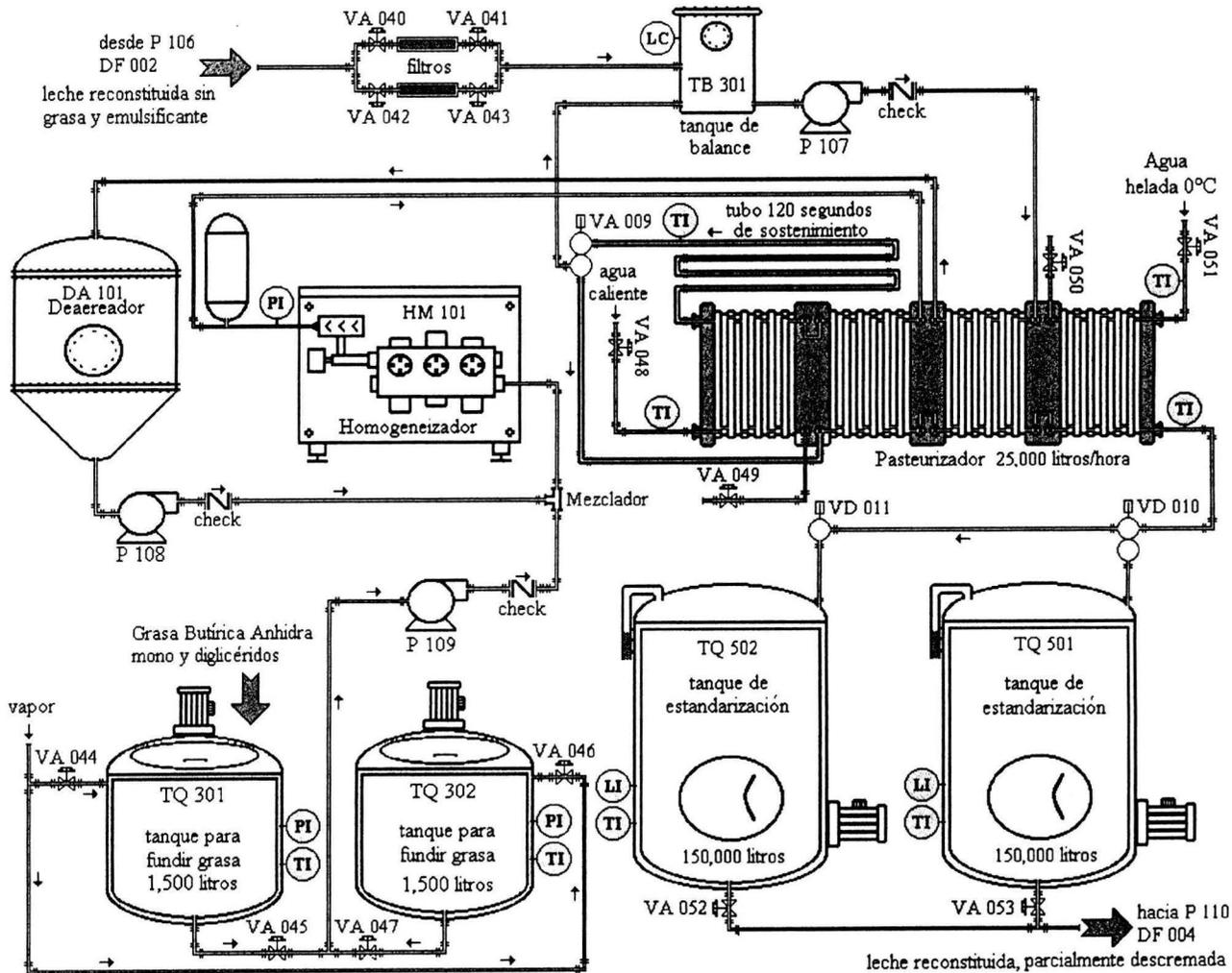


Diagrama de Flujo DF 003
PASTEURIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

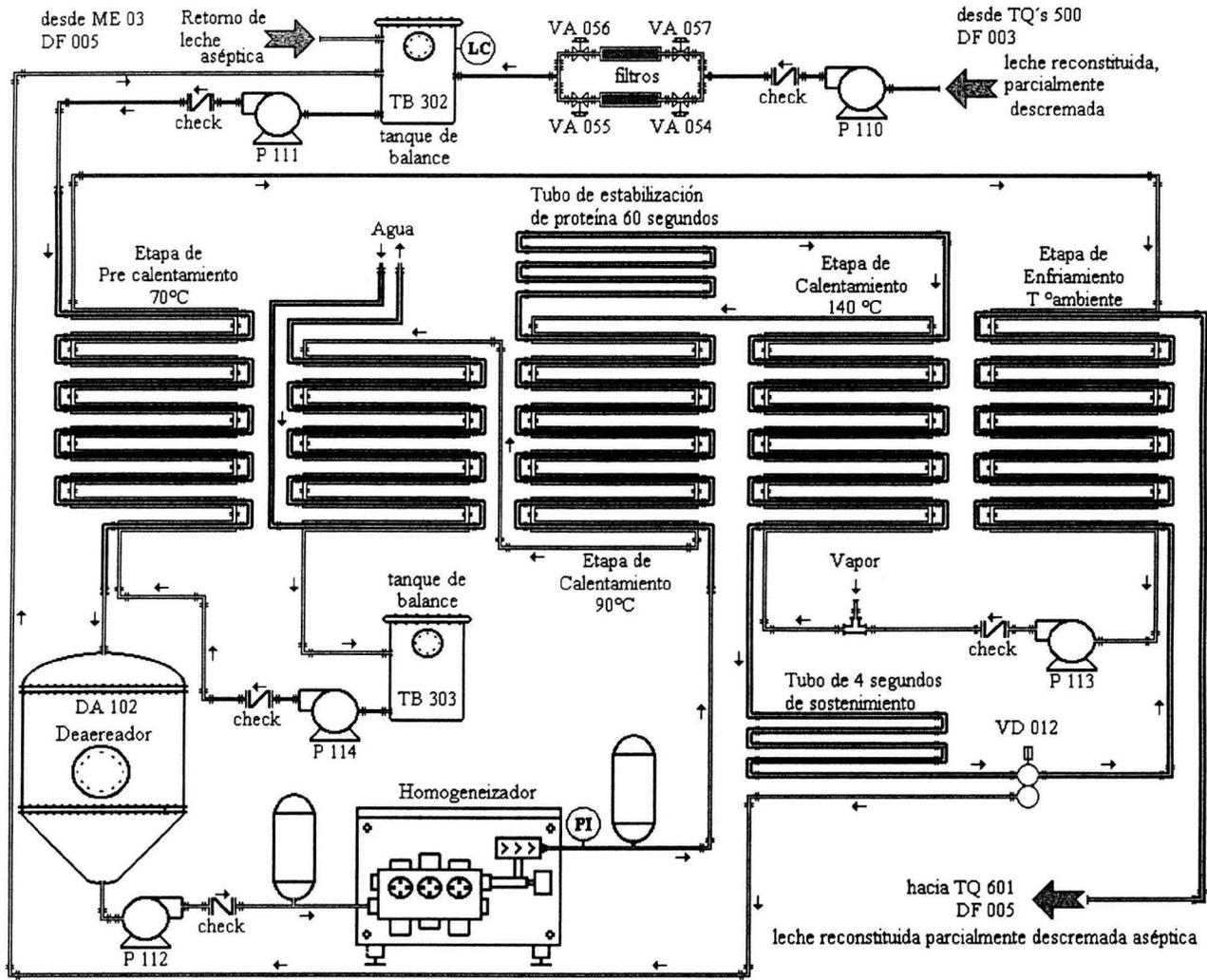


Diagrama de Flujo DF 004
Tratamiento UHT (Ultra High Temperature)

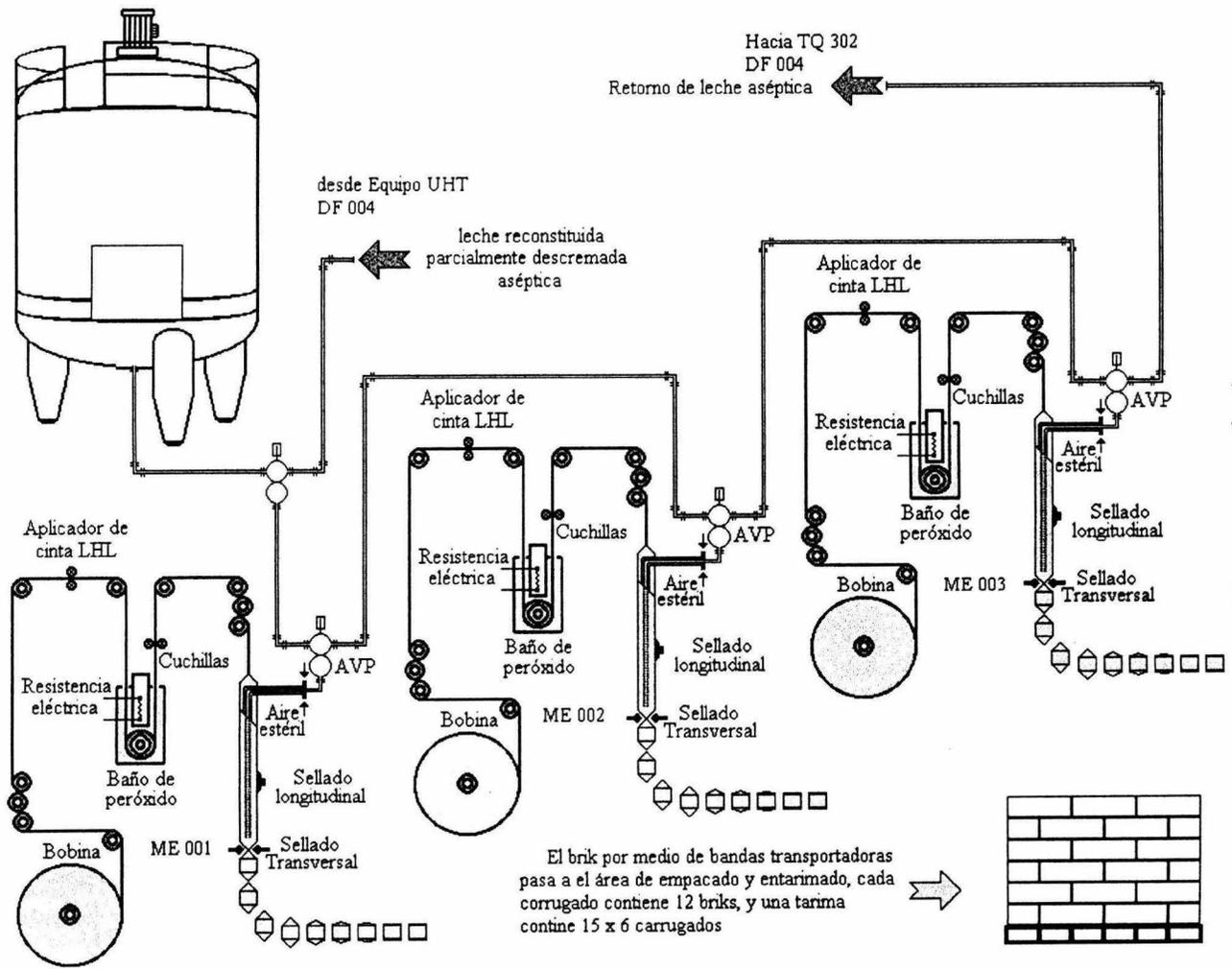


Diagrama de Flujo DF 005
Tanque y Envasado Aséptico

4.2 ETAPAS DEL PROCESO

Los sistemas equipo-proceso que a continuación vamos a explicar corresponden a cada uno de los diagramas de flujo:

4.2.1 PROCESO DE GENERACIÓN DE AGUA PARA HIDRATACIÓN DE LECHE EN POLVO

El proceso de reconstitución y/o rehidratación de leche empieza con la generación de agua de buena calidad, como vemos en el diagrama de flujo DF 001 se tiene una cisterna con capacidad de 300 m³, el agua que se recibe generalmente es de origen municipal y se debe desinfectar con hipoclorito de sodio al 13%, dosificando a razón de 5 mg/litro, antes de mandar el agua clorada a las columnas de filtración se debe mantener un tiempo de contacto de al menos 30 minutos para asegurar una eliminación de bacterias vegetativas, hongos y levaduras y algunas esporas⁵³.

Habiendo transcurrido el tiempo de contacto de 30 minutos se inicia la etapa de filtración accionando la bomba P101, esta bomba envía el agua clorada a las columnas CA201 y CA202 que contienen arena para retener macro partículas, posteriormente el agua pasa por las columnas CC301 y CC302 empacadas con carbón activado para retener principalmente las moléculas de hipoclorito de sodio y hierro; después, el agua sin cloro pasa por las columnas CS401 y CS402 las cuales contienen una resina aniónica para intercambiar los iones Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ y de ésta manera suavizar el agua. Finalmente, como el proceso es continuo el agua pasa por un túnel de rayos ultravioletas RU101 para asegurar la calidad microbiológica y ser almacenada en los tanques TQ101 y TQ102 con capacidad de 150,000 litros y estar lista para la producción.

Hay tres puntos importantes en el proceso donde se debe monitorear el agua, a) el primero es a la salida de las columnas de arena donde se debe verificar la concentración de cloro residual el cual debe ser de al menos 0.2 ppm, esto se puede realizar abriendo la válvula VA003 y/o VA007 para tomar un poco de agua y realizar el análisis, b) el segundo punto es después de las columnas de carbón activado, en donde se verifica que no existan residuos de cloro, por lo que la concentración esperada es de 0.0 ppm, esto se debe lograr, principalmente porque el cloro podría contaminar el material de las columnas que suavizan el agua, además, si el agua contaminada con cloro llegara hasta el producto final, podría contaminarlo proporcionándole al producto un sabor diferente al esperado, y por último c) se debe monitorear el agua a la salida de las columnas suavizadoras para verificar que la dureza del agua este acuerdo con las especificaciones de minerales para productos lácteos, este monitoreo se puede realizar tomando agua a través de la apertura de las válvulas VA030 y/o VA027.

El arreglo de equipos por pares se debe principalmente a que el proceso es continuo y si en algún momento de la producción de agua, cualquiera de las columnas o tanques requiere de regeneración o limpieza se puede sacar de producción para iniciar su mantenimiento.

⁵³ Aseptic Processing and Packaging of Food, pp 91

Cabe mencionar que el agua bajo éste proceso no sólo sirve para la preparación de productos lácteos rehidratados y/o reconstituidos sino que también sirve para la limpieza de los equipos de proceso térmico – pasteurizadores y UHT – en la limpieza CIP.

4.2.2 HIDRATACIÓN DE INGREDIENTES EN POLVO

Después de haber completado el proceso de generación de agua para rehidratación de leche en polvo podemos disponer de ésta para el proceso de rehidratación de ingredientes en polvo.

De acuerdo con el concepto de lote óptimo que se estudio en el capítulo 4.0.0, se deben envasar 294,840.00 litros de productos por día, a esto se le debe sumar la merma intrínseca del proceso de 1.72%, por lo que entonces, se deben rehidratar aproximadamente 300,000.00 litros de leche reconstituida por día para cumplir con lo pronosticado.

Si observamos el DF 003 "Pasteurización", vemos que solamente contamos con dos tanques para estandarización de 150,000.00 litros, los TQ501 y TQ502, por lo que será necesario utilizar el área de hidratación de polvos dos veces para preparar 150,000.00 litros en cada preparación y así obtener los 300,000.00 litros de leche rehidratada.

En el DF 002 "Hidratación de polvos", se cuenta con cuatro tanques para hidratación, cada uno con capacidad de 20,000.00 litros, por lo que a cada tanque se le van a adicionar los ingredientes para preparar 37,500 litros, esto puede sonar extraño porque los tanques se van aforar a 20,000.00 litros. Es decir, en los tanques TQ201 al TQ204 los polvos se hidratarán casi al doble de concentración.

De acuerdo con la fórmula desarrollada en el inciso 3.3 la cantidad de ingredientes necesarios para preparar 150,000.00 y 37,500.00 ($150,000.00 \div 4$) litros de leche reconstituida están en la tabla No. 31:

Tabla No. 31 CANTIDAD DE INGREDIENTES PARA LOS TANQUES DE HIDRATACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS LITROS

Ingredientes	kg para 150,000.00	kg para 37,500.00
Leche descremada en polvo	3,750.00	937.50
Sólidos de mantequilla	6,900.00	1,725.00
Suero dulce en polvo 12%	2,700.00	675.00
Grasa butírica	1,380.00	345.00
Caseinato de sodio	870.00	217.50
Mono y diglicéridos	240.00	60.00
Hierro aminoácido quelado	3.35	0.84
Vitamina A y D ₃	0.68	0.17

En el área de hidratación de polvos no se adiciona la grasa butírica anhidra y tampoco los mono y diglicéridos, éstos son adicionados y mezclados en línea antes de la homogeneización en el proceso de pasteurización y estandarización. Para tener una idea del número de sacos que se requieren adicionar a cada tanque de 20,000.00 litros en el área de hidratación se muestra la siguiente tabla que está en función de la presentación comercial de los ingredientes.

Tabla No. 32 CANTIDAD DE INGREDIENTES PARA LOS TANQUES DE HIDRATACIÓN EN FUNCIÓN DE SACOS COMERCIALES

Ingredientes	Sacos de 25 kg por tanque	kg de ingredientes que se pesan por separado
Leche descremada en polvo	37	12.5
Sólidos de Mantequilla	69	----
Suero dulce en polvo 12%	27	----
Caseinato de sodio	8	17.5
Hierro aminoácido quelado	----	0.84
Vitamina A y D ₃	----	0.17

Una forma común de surtir los materiales al área de producción es por tarima de 1000 kg o dicho de otra manera por tarima con 40 sacos de 25 kg, este sentido, el área de almacén de materias primas deben preparar 4 tarimas, 3 con 120 sacos y una con 21 sacos y los kg de los ingredientes pesados por separado, para cada tanque en el área de hidratación.

Definido lo anterior y teniendo los materiales en el área de producción perfectamente pesados e identificados podemos empezar a hidratar los polvos. Como podemos ver en el diagrama de flujo DF 002 existe una placa diversora donde se concentran todas las entradas y salidas de los equipos, esta placa tiene como función darle al proceso una mayor flexibilidad. El primer paso es interconectar la tubería de agua para hidratar leche en polvo con la tubería del tanque que se seleccionó para realizar la primera rehidratación, este tanque puede ser el TQ201, y la conexión se hace comúnmente con tubo de acero inoxidable y abrazaderas.

Por cada tanque se van a rehidratar casi 3,600.00 kg de polvos por lo que el TQ201 se puede llenar con agua suavizada hasta los 16,000.00 litros para que cuando se adicionen los ingredientes en polvo se alcance los 20,000.00 litros de producto hidratado aproximadamente. En la práctica el volumen de agua suavizada requerida debe validarse en las primeras corridas industriales para tener una cifra exacta del agua requerida.

Conectada la línea de agua suavizada con el TQ201, se enciende la bomba P102, la cual envía agua desde los tanques TQ101 y/o TQ102 hacia los tanques de hidratación. Al terminar de llenar el TQ201 de acuerdo con lo establecido anteriormente, se apaga la bomba P102 y se prosigue a desconectar la línea de agua suavizada del TQ201 y conectarla a la línea del TQ202, se enciende nuevamente la bomba P102 y se prosigue llenando, así hasta llenar los 4 tanques. En paralelo al tener el TQ201 listo se conecta la línea del TQ201 con la línea del

mezclador de alta velocidad, se enciende la bomba P103, P104 y el motor del mezclador de alta velocidad para que el agua empiece a recircular en el mismo tanque.

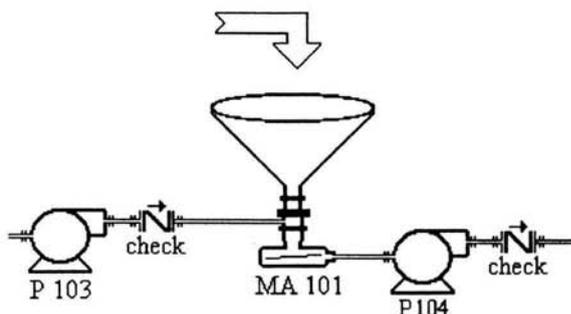
Hay tres aspectos a cuidar dentro de la hidratación de ingredientes en polvo:

- Temperatura de hidratación
- Tiempo de hidratación
- Orden de adición de ingredientes en polvo

La humectabilidad de los polvos se incrementa cuando la temperatura del agua se incrementa desde los 10°C a los 50°C. No hay incremento entre los 50°C a los 100°C (posiblemente hasta ocurra lo contrario). Los polvos *low heat* son más fáciles para disolver que los polvos *high heat*. Es importante que las proteínas obtengan su estado normal de hidratación el cual toma menos de 20 minutos en el rango de los 40°C a los 50°C. En nuestro proceso la temperatura de hidratación se realizará a temperatura ambiente durante un tiempo de 60 minutos de hidratación.

Por otra parte el orden de adición de ingredientes de acuerdo con la fórmula propuesta y por sentido común, es por el producto con un mayor contenido de proteína el que va primero, por lo que quedaría de la siguiente manera:

1. Sólidos de mantequilla
2. Leche descremada en polvo
3. Caseinato de sodio
4. Suero dulce en polvo al 12%
5. Hierro aminoácido quelado
6. Vitamina A y D₃



Después de haber adicionado todos los ingredientes en polvo se empieza a tomar el tiempo de hidratación, transcurrido el tiempo, el personal de control de calidad toma una muestra por tanque para evaluar principalmente el contenido de sólidos no grasos, proteína, punto crioscópico, sabor y apariencia. Los puntos de muestreo son a través de las válvulas VA036 a la VA039.

Existen dos intercambiadores de calor en el área de hidratación de polvos, el primero EX101, sirve para calentar el agua suavizada, Como sabemos la solubilidad se incrementa con la temperatura, no es una práctica común calentar el agua para hidratar los polvos por dos razones, la primera es porque el costo de producción se incrementa debido al uso de vapor y agua helada para enfriar después de haber hidratado, y la segunda porque mientras está caliente la leche rehidratada se corre el riesgo de acidificación si no se enfría a tiempo. Este intercambiador sirve para la elaboración de otro tipo de productos en donde se requiere de calentamiento del agua.

El otro intercambiador es el EX102, este intercambiador sirve para enfriar agua o producto hidratado. Los tanques cuentan con chaqueta para evitar pérdida de frío, pero por si en algún momento existieran retrasos por fallas en algún punto del proceso y el producto hidratado no se puede desplazar a la siguiente etapa del mismo proceso – pasteurización –, el producto puede empezar a calentarse y se corre el riesgo de que la leche se acidifique, por lo que se recomienda que el producto se mantenga por debajo de los 9°C, el arreglo de este intercambiador esta diseñado para que el producto hidratado se enfríe pasando el producto de un tanque a otro o se enfríe en el mismo tanque lo cual no es lo más recomendable.

Antes de pasar al proceso de pasteurización se deben tener los 4 tanques llenos con producto hidratado y a una temperatura menor de 9°C

4.2.3 PASTEURIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

El sistema equipo – proceso del diagrama de flujo DF 003 "pasteurización y estandarización" tiene los siguientes objetivos:

- Eliminar el exceso de aire en la leche hidratada el cual se incorporó cuando se adicionaron los ingredientes al mezclador de alta velocidad, esto se logrará utilizando el deaerador DA101.
- Introducir la grasa butírica anhidra y el estabilizante (mono y diglicéridos) a la leche hidratada.
- Homogeneizar el producto para darle cuerpo y evitar una separación de la grasa butírica.
- Reducir la carga microbiana por medio de la pasteurización .
- Estandarizar la leche reconstituida en grasa y sólidos no grasos con la adición de agua.

Antes de pasar el producto por el pasteurizador se debe tener previamente mezclada y fundida la grasa butírica anhidra con el emulsificante (mono y diglicéridos) en los tanques TQ301 y TQ302, la cantidad de grasa butírica anhidra y emulsificante que se van adicionar a los 150,000.00 litros de leche reconstituida y que se debe colocar en los TQ301 y TQ302 son:

Tabla No. 33 CANTIDAD DE GRASA BUTÍRICA ANHIDRA, MONO Y DIGLICÉRIDOS.

Ingredientes	kg para 150,000.00 litros	Tambores de 185 kg	Sacos de 25 kg	Más kg
Grasa butírica anhidra	1,380.00	7	-----	85
Mono y diglicéridos	240.00	-----	9	15

La grasa butírica cuando se adquiere en tambores de 185 kg generalmente se coloca en cámaras que alcanzan una temperatura de 50°C durante al menos 12 horas, para lograr que la grasa butírica esté completamente líquida y se pueda manejar con mayor facilidad, utilizando

una bomba de lóbulos para bombearla a los tanques TQ301 y TQ302. Los tanques TQ301 y TQ302 están provistos de una chaqueta de vapor para calentar la grasa butírica hasta los 60°C, a esta temperatura y con agitación moderada se adiciona lentamente el emulsificante.

Para empezar a pasteurizar y homogeneizar la leche hidratada se debe contar con los tanques TQ201, TQ202, TQ203 y TQ204 con producto hidratado y enfriado a una temperatura menor de 8°C ± 1°C; y con la grasa butírica anhidra mezclada con el emulsificante a una temperatura de 60°C ± 1°C.

El primer punto por donde pasa el producto hidratado, es un sistema de filtración en línea, este sistema tiene la función de retener principalmente pequeños pedazos de bolsa o plástico que pudieron haberse generado durante la apertura de sacos al adicionar los ingredientes en el mezclador de alta velocidad, el arreglo está diseñado para que si por algún motivo los filtros se tienen que revisar o limpiar estando los equipos en producción se realice uno por uno sin que el proceso se detenga.

Después del sistema de filtros, la leche hidratada pasa al tanque de Balance TB301 para que la bomba P107 envíe la leche hidratada a ser precalentada en la primera etapa de regeneración del pasteurizador de 25,000.00 litros/hora, donde alcanza una temperatura de 68°C. La leche hidratada al salir de la primera etapa de regeneración pasa por un deaerador al vacío DA101

La deaeración al vacío ha sido usada exitosamente para extraer el aire disuelto y burbujas de aire finamente dispersas en la leche. La leche precalentada a 68°C, es alimentada a un recipiente de expansión, deaerador DA101, donde la presión de vacío se ajusta para reducir la temperatura en un rango de 7°C – 8°C. En este sentido la leche hidratada sale del equipo deaerador DA101 aproximadamente a 60°C – 61°C. La caída de presión extrae el aire disuelto con cierta cantidad de leche, esta leche es condensada en la parte superior del recipiente y regresa por gravedad al flujo de leche que sale del deaerador. Mientras que el aire libre junto con gases no condensables (aromas no deseables en la leche) son removidos por la bomba de vacío. Para optimizar, la eficiencia del deaerador, la leche debe entrar a la cámara de vacío de forma tangencial a través de una amplia entrada, como resultado se forma una delgada película sobre la pared, y el aire se elimina más fácil y rápidamente⁵⁴.

Al salir la leche hidratada del deaerador es bombeada por la bomba P108 hacia el mezclador en línea grasa/leche, este mezclador recibe la leche hidratada y la mezcla grasa butírica anhidra, mono y diglicéridos, El mezclador tiene la función de distribuir la grasa en la leche hidratada. La mezcla sale para ser homogeneizada por el equipo HM101.

Es importante que la mezcla grasa butírica anhidra, mono y diglicéridos sean dosificados uniformemente durante todo el proceso de pasteurización, por que de lo contrario la eficiencia de homogeneización se verá afectada considerablemente. Aunque debe considerarse que en el tratamiento UHT se tiene otra fase de homogeneización para asegurar una perfecta homogeneización en el producto final.

⁵⁴ Dairy Processing Handbook, capítulo 6.6, Deaerators, pp 139-142

La homogeneización ha llegado a ser un proceso industrial universalmente practicado como un principio de estabilización para las emulsiones de grasa/agua como es el caso de la leche y disminuir la velocidad de separación de la grasa de la fase acuosa por diferencia de densidades. La homogeneización causa la ruptura de glóbulos de grasa que se forman en el mezclador grasa/leche en glóbulos de grasa de mucho menor tamaño. Ver figura No. 5. Consecuentemente esto disminuye la cremosidad y puede además disminuir la tendencia de los glóbulos grasos a reagruparse o coagular.

Esencialmente toda la leche homogeneizada es producida por un principio mecánico, la leche hidratada con grasa anhidra es forzada a pasar a través de un pequeño espacio a alta velocidad. La desintegración de los glóbulos de grasa originales, es lograda por una combinación de factores que contribuyen, tales como la turbulencia y cavitación. El resultado es disminuir el tamaño de los glóbulos de grasa hasta aproximadamente $1\mu\text{m}$ de diámetro. Por otra parte también se obtiene un incremento de 4 a 6 veces la superficie interfacial grasa/plasma, sin embargo, este incremento en la superficie interfacial no es suficiente para cubrir a todos los nuevos glóbulos de grasa creados, en lugar de esto se forma una nueva superficie interfacial creada por la adsorción de proteínas la cual cumplirá con la función de la superficie interfacial grasa/plasma original⁵⁵.

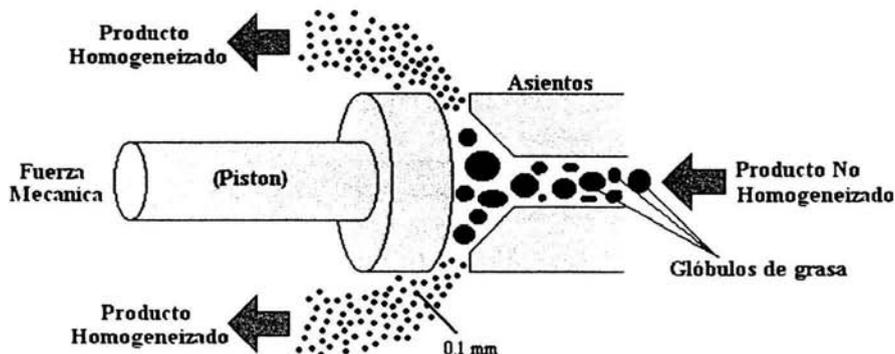


Figura No. 7 LA LECHE NO HOMOGENEIZADA ES FORZADA A PASA A TRAVÉS DE UN PEQUEÑO ESPACIO A ALTA VELOCIDAD PARA ROMPER EL GLÓBULO DE GRASA

Los homogeneizadores pueden ser de una sola etapa o de dos etapas, esto influye principalmente en lo siguiente:

- Una sola etapa en el homogeneizador puede ser usada para la homogeneización de:
 - Productos que demandan una alta viscosidad
- Dos etapas en el homogeneizador pueden ser usada para la homogeneización de:
 - Productos con un alto contenido de grasa,
 - Productos donde una alta eficiencia de homogeneización es deseada

⁵⁵ Dairy Processing Handbook, capítulo 6.3, Homogeniser, pp 115-122

En nuestro caso se utiliza un homogeneizador con una sola etapa con una presión de homogeneización de 140 bar.

Después de que el producto es homogeneizado entra a una segunda etapa de regeneración en el pasteurizador de placas. Las etapas de regeneración son etapas en el pasteurizador donde por un lado de las placas el producto hidratado que entra frío se va calentado con el producto hidratado que ha sido pasteurizado y que sale para irse enfriando. La regeneración se realiza con el mismo producto rehidratado.

Al salir de la segunda etapa de regeneración entra inmediatamente a la etapa de pasteurización y sostenimiento en donde el producto se pasteuriza a $76^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con una celda de sostenimiento de 20 segundos esto para asegurar una reducción logarítmica de microorganismos de 10^6 , la temperatura del agua debe tener una delta positiva con respecto a la temperatura de pasteurización de $2^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$.

Si observamos el Diagrama de Flujo DF 003 "pasteurización y estandarización" al salir el producto de la celda de sostenimiento hay una válvula automática identificada como VA 009, esta válvula es un sistema de seguridad para el producto y su función es enviar el producto reconstituido hacia la sección de regeneración y enfriamiento en el pasteurizador o de regreso al tanque de balance TB 301 esto depende principalmente de la temperatura que registra el transmisor a la salida del tubo de sostenimiento, es decir, si la temperatura está por debajo de la temperatura mínima aceptable de pasteurización (*set point*) que en este caso puede ser fijado a 73°C el producto se retorna hacia el tanque de balance, evitando de esta manera que el producto que no cumple con los parámetros mínimos de proceso sea rechazado e inicia nuevamente el ciclo a partir del tanque de balance; por el contrario, si el producto reconstituido cumple con la temperatura de pasteurización, sigue con el proceso de enfriamiento hasta su almacenamiento.

Otro sistema de seguridad después de que el producto sale la celda de sostenimiento y antes de que entre a la válvula VA009 es colocar una bomba *booster*, esta bomba tiene como objetivo generar un diferencial de presión positivo del lado del producto pasteurizado en las etapas de regeneración y enfriamiento, esto evitará que si existe alguna fisura en placas el producto se recontamine, ésta bomba dentro de nuestro sistema no existe debido a que nuestros productos todavía deben pasar por un tratamiento UHT.

Después de que la leche ha pasado por los sistemas de seguridad se enfija hasta una temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ para disminuir al máximo el crecimiento microbiano y se almacena en los tanques TQ501 o TQ502,

Hay que recalcar que los cuatro tanques que estaban llenos con 20,000,00 litros de producto rehidratado pasaron por el pasteurizador y se incorporó la grasa butírica anhidra y mono y diglicéridos, por lo que en este punto ya tenemos leche reconstituida y solamente hay que aforar el tanque TQ501 o TQ502 hasta los 150,000,00 litros para cumplir con el volumen. El agua que se utilizará para aforar debe ser también agua de la misma calidad que se utilizó para la hidratación de polvos y debe pasar por el pasteurizador para no recontaminar el producto final.

Cuando se ha alcanzado el volumen final el producto se debe dejar agitando durante al menos 30 minutos, después se toma una muestra y se realizan los análisis fisicoquímicos descritos en la tabla No.1. Cuando se obtienen los resultados el producto es liberado para pasar al tratamiento UHT y envasado aséptico.

4.2.4 TRATAMIENTO UHT (ULTRA HIGH TEMPERATURE)

El sistema equipo - proceso del diagrama de flujo DF 004 "tratamiento UHT" tiene los siguientes objetivos:

- Reducir al mínimo el contenido de aire y de esta manera el contenido de oxígeno en la leche hidratada para evitar oxidación de la grasa butírica.
- Homogeneizar el producto para darle cuerpo y mantener el producto durante toda su vida útil en una sola fase.
- Proporcionar al producto la esterilidad comercial.

El tratamiento UHT es un proceso en flujo continuo, lo que es la base para que el producto sea sometido a un rápido calentamiento hasta la temperatura de esterilización, mantener esta temperatura por un tiempo corto y finalmente enfriar rápidamente. Bajo este proceso se obtiene el principal objetivo del tratamiento UHT que es proporcionar al producto alimenticio una esterilidad comercial. La eficiencia de la esterilidad requiere una rápida transferencia de calor lo que es únicamente posible en sistemas líquidos.

La **esterilidad comercial** de un producto es definida como la ausencia de microorganismos en el producto que puedan crecer bajo condiciones generales.

Existe una gran variedad de esterilizadores UHT que trabajan bajo un sistema de esterilización diferente.

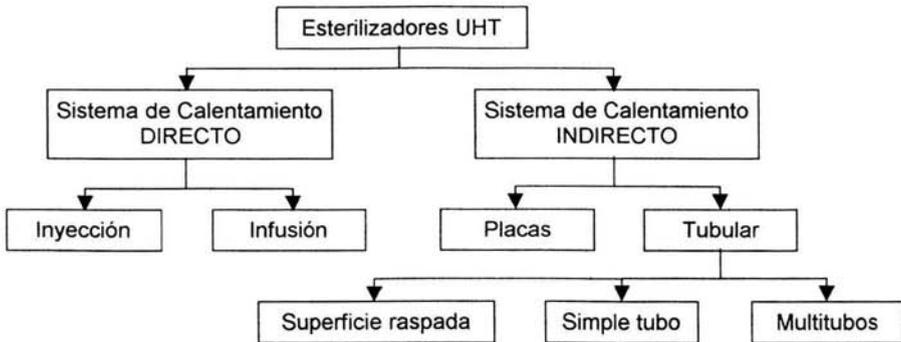


Fig. No. 8 MÉTODOS DE ESTERILIZACIÓN UHT

Para el proceso de leche reconstituida cualquier equipo y sistema de calentamiento puede funcionar, sin embargo el esterilizador UHT que se propone es un esterilizador UHT con sistema de calentamiento indirecto multitubos y es el que se presenta en el diagrama de flujo DF 004.

4.2.4.1 EFICIENCIA DE ESTERILIZACIÓN

Cuando microorganismos y/o bacterias esporuladas se someten a un tratamiento térmico o cualquier otro tipo de procedimiento de esterilización y/o desinfección, no todos los microorganismos son eliminados inmediatamente, Por el contrario, una cierta proporción es destruida en un período de tiempo mientras el resto sobrevive. Si los microorganismos sobrevivientes son una vez más sometidos al mismo tratamiento durante el mismo período de tiempo, una misma proporción de estos microorganismos se destruirá y otra sobrevivirá y así sucesivamente⁵⁶.

El efecto letal de la esterilización sobre los microorganismos puede ser expresado matemáticamente como una función logarítmica.

$$k \times t = \log \frac{N}{N_t}$$

Donde:

N : número de microorganismos esporulados originalmente presentes.

N_t : número de microorganismos esporulados presentes después de un tiempo (t) de tratamiento térmico.

k : constante.

t : tiempo de tratamiento térmico.

Esta fórmula representa una línea recta cuando se dibuja en una gráfica semi-logarítmica usando en el eje de la abscisas el tiempo de tratamiento térmico (t) y en el eje de las ordenadas el número de sobrevivientes (N_t).

Una función logarítmica nunca puede ser cero, en otras palabras, la esterilidad definida como la ausencia de bacterias esporuladas vivas en un volumen ilimitado de producto es imposible de lograr. En vez de aplicar demandas que son imposibles y no pueden ser determinadas bajo condiciones prácticas, se debe buscar un concepto realista y factible. Un concepto puede ser "Efecto de esterilización" o "Eficiencia de esterilización". Este concepto define el número de reducción decimal en la cuenta de bacterias esporuladas logradas por un proceso de esterilización.

Cada vez que un proceso de esterilización es realizado, puede ser caracterizado por una "Eficiencia de esterilización", En cualquier proceso de esterilización por temperatura, el efecto de esterilización es determinado por la relación tiempo/temperatura aplicado al proceso. Por lo

⁵⁶ Dairy Processing Handbook, capítulo 9.0, Long life milk, pp 215-217

que a una mayor temperatura y a un mayor tiempo de sostenimiento, es mayor la "Eficiencia de esterilización" en el proceso.

La eficiencia de esterilización es expresada por el número de reducciones decimales logradas en el proceso. Por ejemplo, una eficiencia de esterilización de 9, indica que de 10^9 bacterias esporuladas que se alimentan al proceso, únicamente 1 (10^0) bacteria esporulada sobrevivirá. El efecto esterilizante es independiente del volumen.

Esporas de Bacilos *Subtilis* o Bacilos *Stearothermophilus* son generalmente usadas como organismos de prueba para determinar la eficiencia de esterilización de los equipos UHT. Equipos de flujo continuo con tratamiento UHT usualmente tienen una Eficiencia de esterilización alrededor de 10 a 12 utilizando como organismo de prueba al *B. Subtilis* y de 8 cuando se utiliza al *B. Stearothermophilus*. Por lo que el efecto de esterilización depende de:

- La relación tiempo/temperatura.
- La resistencia térmica de los microorganismos esporulados de prueba.
- El producto que va a ser sometido a un tratamiento térmico.

4.2.4.2 CAMBIOS QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS EN TRATAMIENTOS UHT

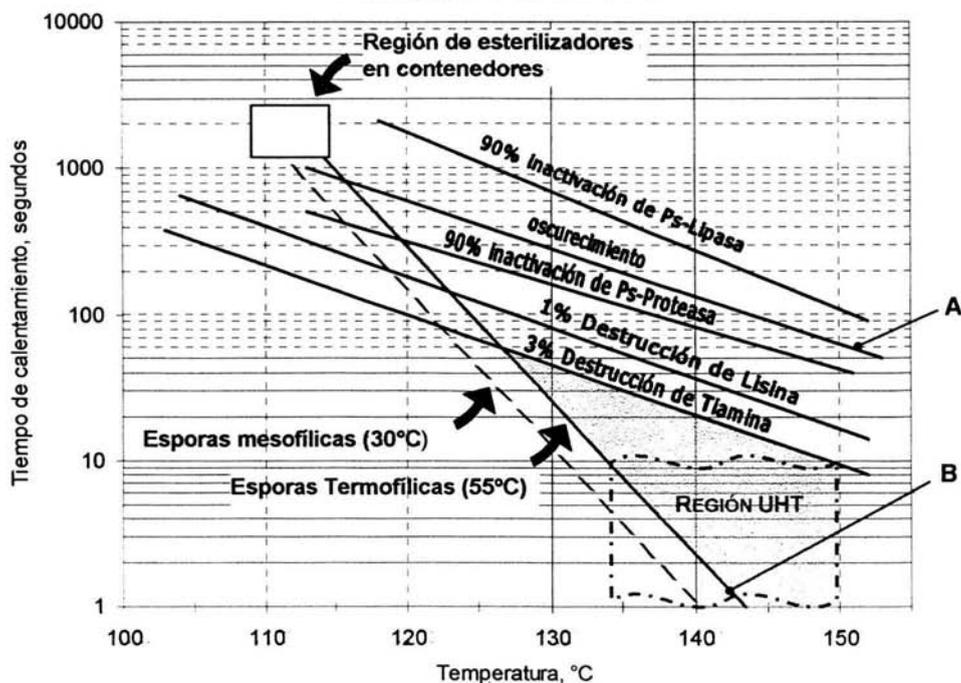
Cuando la leche es mantenida a una alta temperatura por un determinado período de tiempo, ciertas reacciones químicas son formadas en el producto, tales como oscurecimiento, sabor a cocido o caramelizado, y ocasionalmente presencia de grumos o sedimentación. Estos defectos son evitados cuando el tratamiento térmico a alta temperatura se realiza por un período de tiempo muy corto. Es importante que la relación tiempo/temperatura sea seleccionada adecuadamente para que la destrucción de esporas sea satisfactoria y al mismo tiempo el daño por calentamiento a la leche sea mantenido en los niveles más bajos posibles⁵⁷.

En la gráfica No. 2 se muestra la relación entre la eficiencia de esterilización y las reacciones de oscurecimiento. La línea **A** representa el valor mínimo de la relación tiempo/temperatura que puede tornar oscura a la leche. La línea **B** es el valor mínimo de la relación tiempo/temperatura para completar la esterilización (destrucción de esporas termofólicas). En la grafica se puede apreciar las zonas de esterilización en contenedores y por tratamiento UHT.

En la gráfica No. 2 podemos apreciar que aunque los dos procedimientos de esterilización – en contenedor y UHT – tienen la misma eficiencia de esterilización, hay una gran diferencia en los efectos químicos, en la primera se presentan reacciones de oscurecimiento y destrucción de vitaminas y aminoácidos. Por esta razón el sabor de la leche sometida a un tratamiento UHT es mejor y la leche tiene un mayor valor nutritivo que la leche esterilizada en contenedores.

⁵⁷ Dairy Processing Handbook, capítulo 9.0, Long life milk, pp 219-220

Gráfica No. 2 RELACIÓN EFICIENCIA DE ESTERILIZACIÓN
Y REACCIONES DE OSCURECIMIENTO



4.2.4.3 ASPECTOS NUTRIMENTALES

Cuando se estudia algún tipo de proceso alimenticio, es importante considerar el aspecto nutricional. Extensivas investigaciones sobre el efecto del tratamiento térmico sobre la leche han sido realizadas.

Los efectos del tratamiento UHT sobre los constituyentes de la leche pueden ser resumidos de acuerdo con la tabla No. 34.

Tabla No. 34 EFECTO UHT SOBRE LOS
CONSTITUYENTES DE LA LECHE

CONSTITUYENTES	EFECTO UHT
Grasa	Sin cambios
Lactosa	Cambios marginales
Proteínas	Parcial desnaturalización de las proteínas de suero
Sales minerales	Parcial precipitación
Vitaminas	Degradación marginal

No hay cambios en el valor nutricional de grasa, lactosa y sales minerales, pero hay cambios marginales en los valores nutrimentales de proteínas y vitaminas.

La mayor proteína en la leche, es caseína y no es afectada por el tratamiento UHT. La desnaturalización de la proteína de suero no significa que el valor nutricional sea bajo en leches UHT, por el contrario el tratamiento UHT mejora la digestibilidad de las proteínas séricas, la estructura es desatada para que las enzimas del estomago puedan más fácilmente atacar las proteínas.

Pequeñas pérdidas de aminoácidos esenciales como la lisina causan cambios marginales, sin embargo ha sido demostrado que sólo cerca del 0.4% – 0.8% de lisina es perdida en el proceso UHT. En un proceso de esterilización con contenedores la leche pierde cerca del 6.0% – 10.0% de lisina.

Algunas de las vitaminas en la leche son consideradas más o menos termoestables, entre las más estables las vitaminas liposolubles como las vitaminas A, D y E, y las vitaminas hidrosolubles como la B₂, B₃, biotina y ácido nicotínico, otras vitaminas son menos estables al calor como la B₁ (tiamina), su pérdida en un proceso UHT es del 3%.

4.2.4.4 PROCESO

Al tener los tanques TQ501 y/o TQ502 con leche reconstituida y liberados, se puede iniciar el tratamiento UHT y envasado aséptico. El proceso se activa accionando la bomba P110 la cual succiona la leche reconstituida de los TQ500's hacia el sistema equipo-proceso UHT, la leche reconstituida pasa por un sistema de filtración que tiene la misma función que el sistema de filtración que se revisó en el DF 003 "Pasteurización y estandarización", Sin embargo existe la diferencia en el tamaño de malla, es decir, la malla en los filtros del equipo UHT es de menor diámetro.

Posteriormente la leche reconstituida entra al tanque de balance TB302, y de ahí a la primera etapa de precalentamiento, aquí el producto se precalienta entre los 70°C – 75°C, para posteriormente eliminar el aire con el deaerador DA102 y de esta forma reducir el contenido de oxígeno en la leche hasta un valor de 0.3 – 0.9 ppm.

La homogeneización de la leche reconstituida se lleva a cabo en un homogeneizador de dos etapas, en la primera etapa el producto se homogeneiza entre los 150 a 200 bar, en la segunda etapa se aplica generalmente una presión de 50 bar. El homogeneizador de dos etapas, en este punto del proceso, nos ayuda a reafirmar la ruptura de los glóbulos de grasa que realizó el homogeneizador HM 101 de una etapa previo a la pasteurización y a disgregar los glóbulos de manera uniforme dentro del producto terminado. Con esto aseguramos que el producto no será rechazado por presentar separación de grasa. En la figura No. 9 se puede apreciar que la homogeneización se realiza entre los 70°C – 75°C.

Después de homogeneizar la leche reconstituida el producto entra a un sistema de calentamiento a 90°C ± 2°, con un sostenimiento de 60 segundos; ésta relación temperatura/tiempo sirve para estabilizar la proteína de suero y evitar que en el envase se

presente floculación de proteína, es importante recalcar que si bien esto es una medida de prevención en el proceso, la calidad de las materias primas tiene mucho que ver con que se presente la floculación o no dentro del envase.

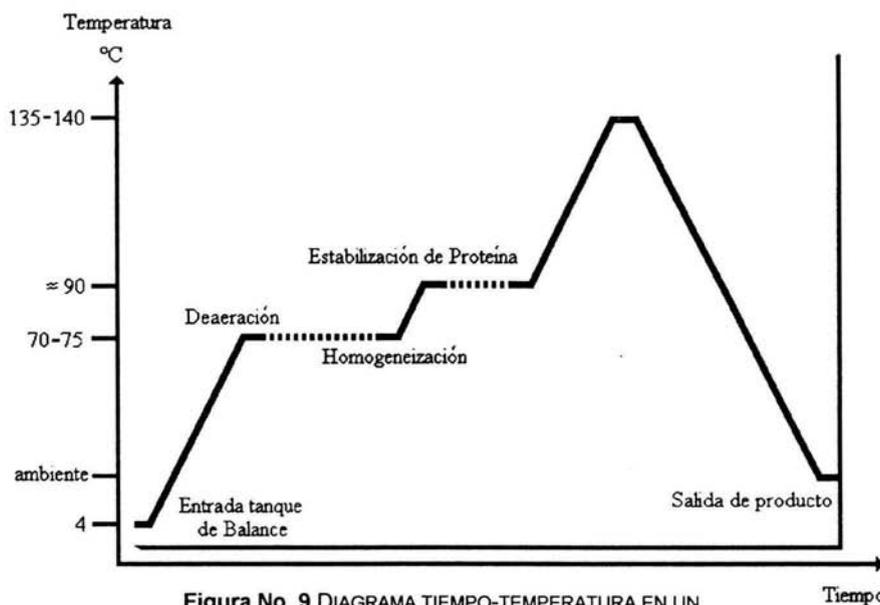


Figura No. 9 DIAGRAMA TIEMPO-TEMPERATURA EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO INDIRECTO

Posteriormente la leche entra al sistema de esterilización a $140^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con un sostenimiento de aproximadamente 4 segundos, esta relación temperatura/tiempo es la ideal para este tipo de proceso indirecto, y es aquí donde se obtiene la esterilización comercial. A partir de este punto se incrementa los cuidados en el manejo de la leche por posible reinfeción. El producto generalmente se enfría entre los $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$. La leche rehidratada después de este punto puede ir hacia al tanque aséptico o ir directamente a las máquinas de envasado aséptico.

Si observamos el Diagrama de Flujo DF 004 "Tratamiento UHT (*Ultra High Temperature*)" al salir el producto de la celda de sostenimiento de 4 segundos hay una válvula automática VA012, esta válvula es un sistema de seguridad para el producto esterilizado y su función es enviar la leche reconstituida hacia la sección de enfriamiento a temperatura ambiente o de regreso al tanque de balance TB302 esto depende principalmente de la temperatura que registra el transmisor a la salida del tubo de sostenimiento, es decir, si la temperatura está por debajo de la temperatura mínima aceptable de esterilización (*set point*) que en este caso puede ser fijado a 137°C el producto se retorna hacia el tanque de balance, evitando de ésta manera que el producto que no cumple con los parámetros mínimos de proceso recontamine al producto final si es que entra al tanque aséptico, o se envase producto con falla de esterilidad, e

inicia nuevamente el ciclo a partir del tanque de balance, por el contrario si la leche reconstituida cumple con la temperatura de esterilización, sigue con el proceso de enfriamiento hasta su envasado aséptico.

Entre la parte de precalentamiento a 70°C y el calentamiento a 90°C hay una sección que tiene la función de enfriar el agua que sale de la sección de calentamiento a 90°C en 8°C, y así poder precalentar solo hasta los 75°C.

4.3.5 TANQUE Y ENVASADO ASÉPTICO

El tanque aséptico es un equipo totalmente hermético y diseñado para evitar la recontaminación del producto, su función es flexibilizar el proceso o aumentar la capacidad de producción.

En una producción normal se puede estar enviado producto aséptico hacia el tanque aséptico, y posteriormente hacia las máquinas envasadoras.

El envasado aséptico se realiza en una máquina TBA. La máquina envasadora, es un equipo que tiene tres funciones

- Esterilizar el papel el cual va a utilizarse para envasar la leche.
- Formar el envase para envasar la leche.
- Envasar la leche asépticamente.

El empaque está diseñado bajo un formato TBA/m, para el envasado aséptico se requieren de cuatro materiales de empaque.

- Brik o laminaciones
- Cinta LHL
- Corrugado
- Hot melt

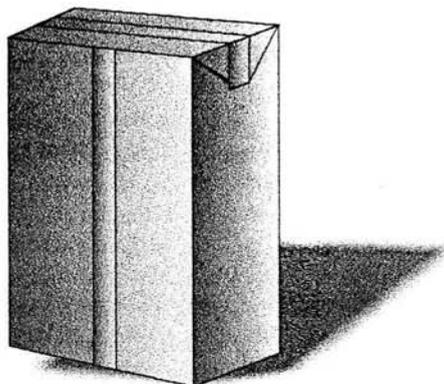
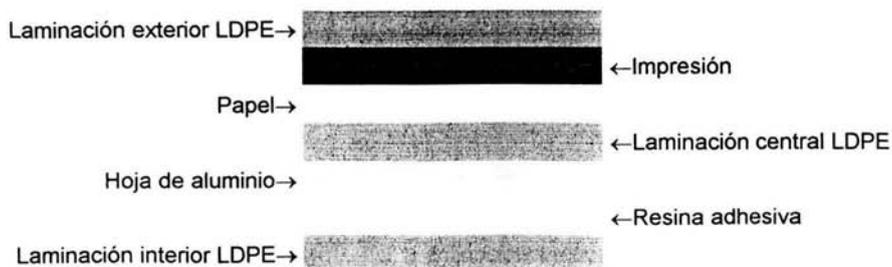


Figura No. 10 MATERIALES DE PARA LA LAMINACIÓN DE UN ENVASE TETRA PAK



- *Laminación exterior LDPE*: Es una película de polietileno de baja densidad que proporciona protección contra la humedad al empaque e impresiones, y sirve para realizar el sellado de picos.
- *Impresión*: Son las artes gráficas, diseños, impresiones y textos.
- *Papel*: Proporciona rigidez y forma al envase.
- *Laminación central LDPE*: Es una película de polietileno de baja densidad y sirve como capa de adhesión entre el papel y la hoja de aluminio.
- *Hoja de aluminio*: Sirve como barrera para proteger al producto contra la luz, aire y sabores no deseados.
- *Resina adhesiva*: Es un adhesivo para unir la hoja de aluminio y la laminación interior de LDPE
- *Laminación interior LDPE*: Es una película de polietileno de baja densidad y su principal función es la formación del sellado transversal y longitudinal.

El envasado aséptico se realiza a través de máquinas de la compañía Tetra Pak quienes generalmente rentan sus equipos de envasado. Éstas máquinas envasadora inician su operación con una esterilización completa de todos sus componentes utilizando aire caliente y peróxido de hidrógeno al 35%, al terminar se coloca una bobina de laminación Tetra Pak la cual es aprobada previamente por el cliente en cuestión de diseño, leyendas y textos legales, se introduce el papel a través de los rodillos de la máquina de tal manera que van guiando al papel a través de los distintos dispositivos de la máquina para que finalmente se obtenga el brik; estos dispositivos se pueden observar en el Diagrama de flujo DF 005 y son los siguientes:

APLICADOR DE CINTA LHL: Este dispositivo asegura la correcta adhesión de una cinta transparente de aproximadamente 2.0 cm de ancho sobre una de las orillas del papel, su unión es a través de presión y calor. Y su función principal de la cinta es unir las dos orillas.

BAÑO DE PEROXIDO, RESISTENCIA ELÉCTRICA Y CUCHILLAS: la resistencia eléctrica calienta agua y esta a su vez calienta el peróxido de hidrógeno al 35% aproximadamente hasta los 50°C con la finalidad de aumentar su poder bactericida sobre los esporulados que pueda contener el

papel; el papel de la bobina pasa a través del baño de peróxido caliente y el exceso es removido utilizando las cuchillas de aire estéril. En este momento se da por hecho de que el papel ha sido también esterilizado y puede entrar en contacto con la leche que es de calidad aséptica.

SELLADO LONGITUDINAL: El papel esterilizado pasa por un dispositivo de rodillos que dan forma al papel de tubo llamado comúnmente "tubo estanco"; por fuera del tubo estanco se encuentra una plancha que une el otro extremo de papel con la cinta LHL utilizando nuevamente calor y presión. Por otra parte dentro del tubo estanco se encuentra el tubo de alimentación de leche aséptica, este tubo está conectado a una válvula llamada AVP que significa aire – vapor – producto. Esta válvula cuando la máquina está en limpieza pasa aire estéril y vapor y cuando está en producción pasa la leche aséptica y utiliza una barrera de vapor para impedir una recontaminación.

SELLADO TRANSVERSAL: este dispositivo tiene dos funciones la primera es sellar completamente la parte superior e inferior del brik a través de calor y presión formando tanto en la parte superior como en la parte inferior del brik picos sellados. La segunda función es cortar el papel e individualizar al brik.

Después de llenar y formar el brik en presentación para el consumidor este es transportado por banda hacia la sección de empaquetado, ahí el brik se agrupa en docena para introducirse automáticamente a una caja de cartón corrugado tipo "*wrap around*" la cual es acomodada en tarima convencional de madera en camas de 15 corrugados por 6 corrugados de alto, se emplea manual o automáticamente con polietileno estirable para cubrir los corrugados del polvo y evitar movilidad de los corrugados durante su transportación por medio de montacargas.

5. CONCLUSIONES

Hoy en día el costo de leche desde los establos a las empresas oscila entre los \$ 3.20 a los \$3.60 por litro dependiendo de la calidad con la que se adquiera, la fórmula de leche reconstituida de acuerdo con los precios de materias primas de diciembre de 2003 está en \$0.2052 usd por litro, y el costo de leche rehidratada se encuentra en \$0.2124 esto conlleva a que realmente se tiene un ahorro significativo en la producción de este tipo de leche y que además contiene un ingrediente funcional que ayuda a los problemas de anemia de índole nacional. Además, y como mencionamos en el capítulo de materias primas, esta fórmula de leche reconstituida no es la única que se puede desarrollar, pueden desarrollarse fórmulas mucho más económicas elaboradas con grasa vegetal y que cumplan con las mismas expectativas de ayudar a combatir la anemia en la población nacional.

Por otra parte nosotros solamente tocamos el problema de anemia, pero si revisamos la encuesta nacional de nutrición veremos que la anemia no es el único problema de salud en nuestro país, y creo que esa es la base para el desarrollo de nuevos productos que se enfoquen a reparar esas deficiencias nutrimentales en la población joven, sin embargo esto no es el único problema al que se enfrenta el país, hay otros de carácter socio - cultural que también requieren atención por parte de las autoridades.

En cuestión de proceso, en el mercado mexicano existen muchas empresas que cuentan con la infraestructura necesaria para poder desarrollar un producto como el anterior, de hecho la infraestructura que desarrollamos es de una planta de pequeña capacidad para rehidratación. Empresas nacionales y extranjeras cuentan con el triple de capacidad de elaboración, sin embargo muchas de estas empresas lanzan productos muy novedosos y con propiedades funcionales pero para consumidores con una mayor capacidad de adquisición, desafortunadamente México tiene un 70% de pobres de los cuales el 30% vive en pobreza extrema.

Finalmente y como se observó dentro del desarrollo de la tesis existe una posibilidad real y económicamente factible, desde el punto de vista formulación, de elaborar un producto lácteo reconstituido que cumplan con las normas mexicanas oficiales y que además ayuden a los problemas de salud de nuestro país, y sobre todo en la población infantil, mujeres embarazadas y no embarazadas, quienes en un futuro serán las personas que manejen el país.

6. ANEXOS

Los anexos incluidos en esta tesis son una recopilación de las técnicas analíticas vigentes para determinar los parámetros fisicoquímicos de la leche reconstituida parcialmente descremada y enriquecida con hierro aminoácido quelado y vitaminas A y D₃.

ANEXO 6.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE CRIOSCÓPICO NOM-155-SCFI-2003 MÉTODO DE PRUEBA 8.1

FUNDAMENTO

El principio en el cual se basa la técnica de la crioscopia es la Ley de Raoult, que señala que tanto el descenso crioscópico como el ascenso ebulloscópico, están determinados por la concentración molecular de las sustancias disueltas.

Al enfriar una solución diluida se alcanza eventualmente una temperatura en la cual el solvente sólido (solute) comienza a separarse. La temperatura a la cual comienza tal separación se conoce como punto de congelación de la solución.

REACTIVOS

- Solución patrón de sacarosa al 7%, [-0.00199°C (-0.422°H)]
- Solución patrón de sacarosa al 10%, [-0.00180°C (-0.621°H)]
- Solución patrón de verificación [-0.00189°C (-0.530°H)]
- Líquido congelante para baño del crioscopio

Nota Las soluciones patrón y el líquido anticongelante pueden adquirirse comercialmente.

MATERIALES

- Pipetas volumétricas de 2 mL
- Termómetro (-10°C)
- Tubos para crioscopio

EQUIPO

- Crioscopio con termisor

PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

- Preparación del líquido congelante para el baño del crioscopio: Se prepara a partir de anticongelante comercial siguiendo las indicaciones que vienen en la etiqueta. Por ejemplo:

Para obtener un punto de congelación de -9°C se deben mezclar 25% de anticongelante con 75% de agua destilada.

- Preparación de las muestras: La muestra de leche no requiere de ninguna preparación especial. Se puede utilizar leche entera, aunque la leche descremada proporciona resultados más consistentes. Las pruebas siempre se deben comenzar con las muestras a temperatura ambiente; si es necesario emplear muestras directamente del refrigerador, las soluciones patrón también deben enfriarse hasta alcanzar la misma temperatura. Para evitar el congelamiento prematuro debido a la presencia de grasa congelada en las muestras, calentar éstas a una temperatura de 30°C a 38°C o permitir que se separe la leche y probar la porción baja en grasa.

Nota La cantidad de muestra utilizada es crítica, debido a que diferentes volúmenes de muestra requieren de distintas calibraciones; por esta razón las muestras deben ser medidas siempre cuidadosamente para obtener cantidades uniformes, pero no necesariamente exactas.

- Preparación de las soluciones patrón: Guardar las soluciones patrón en envases de polietileno a temperatura ambiente. Utilizar siempre agua destilada a una temperatura de 20°C .

Solución patrón de sacarosa al 7%, determinar la masa de exactamente 7.0 g de sacarosa pura en un matraz volumétrico de 100 mL y diluir al volumen con agua a una temperatura de 20°C , o determinar la masa de 100 g de agua en un matraz volumétrico de 100 mL y agregar exactamente 0.6892 g de cloruro de sodio grado reactivo previamente secado y enfriado.

Solución patrón de sacarosa al 10%, determinar la masa de exactamente 10.0 g de sacarosa pura en un matraz volumétrico de 100 mL y diluir al volumen con agua a una temperatura de 20°C o determinar la masa de 100 g de agua en un matraz volumétrico de 100 mL y agregar exactamente 1.0206 g de cloruro de sodio grado reactivo previamente secado y enfriado.

PROCEDIMIENTO

- Verificar antes de iniciar las determinaciones el nivel del líquido congelante y la temperatura del mismo a -7°C .
- Verificar la calibración del instrumento con ambas soluciones patrón.

Nota: Para las verificaciones antes señaladas y la operación del equipo, seguir las instrucciones del fabricante.

- Enjuagar el tubo con la muestra a analizar.
- Medir 2 mL de muestra dentro del tubo.
- Colocar el tubo en el contenedor del elevador y presionar el botón de control principal (head control).
- Leer y apuntar la lectura que aparece en la pantalla (resultado). Si hay duda en alguna lectura obtenida, repetir la determinación pudiendo haber una variación de ± 2 entre una lectura y otra.
- Retirar el tubo y limpiar perfectamente el sensor, el alambre, el mandril y la parte superior del elevador antes de cada determinación, enjuagando con agua destilada y secando posteriormente.
- Al terminar todas las determinaciones, limpiar el sensor, el alambre, el mandril y la parte superior del elevador, colocar un tubo vacío en el contenedor para evitar la evaporación en el baño de congelación, bajar el cabezal presionando el botón control principal (head control) y apagar el instrumento.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- Cálculos

El resultado obtenido debe cumplir con lo especificado para cada tipo de leche.

Cuando el crioscopio ha sido calibrado con estándares -0.00199°C (-0.422°H) y -0.00180°C (-0.621°H) para convertir a $^{\circ}\text{C}$ la lectura se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{0.1915 \times \left[\left(\frac{-L}{1000} \right) - 0.00047851 \right]}{0.199}$$

donde:

L es la lectura directa del aparato en $^{\circ}\text{H}$ como valor absoluto.

Nota Debido a algunas variables como son el manejo del ganado, la estación del año y el procesamiento en sí de la leche, está considerado que el punto crioscópico de la leche fresca es de -0.00189°C (-0.530°H) a -0.00186°C (-0.560°H) con un valor promedio de -0.00188°C (-0.545°H); por tanto, cuando se sospecha que la leche ha sido adicionada de agua el índice crioscópico se acerca a 0°C [valores menores de -0.00189°C (-0.530°H)]. Si el valor es superior a -0.00186°C (-0.560°H) se sospecha la adición de sales. Es necesario recalcar que entre una lectura y otra de una misma muestra, no debe existir una diferencia mayor de ± 2 .

ANEXO 6.2

DETERMINACIÓN DE LA CASEÍNA EN LA LECHE

NOM-155-SCFI-2003 MÉTODO DE PRUEBA 8.2

FUNDAMENTO

La caseína es precipitada con ácido acético en su punto isoeléctrico a pH 4,6 y posteriormente cuantificada por el método de Kjeldahl-Gunning. La caseína y demás materias orgánicas son oxidadas por el ácido sulfúrico y el nitrógeno orgánico de las proteínas se fija con sulfato de amonio; esta sal se hace reaccionar con una base fuerte para desprender amoniaco que se destila y se recibe en un ácido débil, en el cual se puede titular el amoniaco con un ácido fuerte. En este método de Kjeldahl-Gunning, se usa el sulfato de cobre como catalizador y el sulfato de sodio para aumentar la temperatura de la mezcla y acelerar la digestión.

REACTIVOS

- Ácido acético (1:9)
- Ácido bórico
- Ácido clorhídrico
- Ácido sulfúrico 93% a 98% (libre de nitrógeno)
- Granallas de zinc grado reactivo
- Indicador de Wesslow⁵⁸
- Sulfato de cobre
- Sulfato de sodio anhidro grado reactivo

MATERIALES

- Bureta de 50 mL
- Espátula
- Embudo de filtración
- Vaso de precipitado de 100 mL
- Probeta de 100 mL y 250 mL
- Papel filtro

⁵⁸ PREPARACIÓN DEL INDICADOR WESSLOW: Mezclar dos partes de (a) y una parte de (b),

(a) Rojo de metilo al 0,2% en una mezcla de 60 mL de alcohol etílico y 40 mL de agua ($(\text{CH}_3)_2\text{N}(\text{C}_6\text{H}_4)_2\text{N}=\text{N}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{COOH}$ y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ y H_2O).

(b) Azul de metileno al 0,2% en agua $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{SCl}_2\text{Zn}\cdot\text{H}_2\text{O}$.

- Pipeta de 1,0 mL
- Matraces Kjeldhal de 500 mL
- Matraces Erlenmeyer de 500 mL
- Agitador magnético

APARATOS

- Balanza analítica con exactitud de 0.1 mg
- Digestor-destilador de Kjeldahl

PROCEDIMIENTO

- Medir 10 mL de leche en un vaso de precipitado de 100 mL e inmediatamente adicionar 0.25 mL de ácido acético (1:9), mezclar suavemente por rotación y verificar que el pH sea de 4.6, de ser necesario adicionar más ácido acético (1:9) hasta llegar a este pH, dejar reposar de 3 a 5 min.
- Filtrar sobre papel filtro previamente humedecido en la solución de ácido acético (1:9) hasta que el filtrado se transparente cuidando de enjuagar con el mismo filtrado el vaso utilizado para la precipitación.
- Lavar tres veces el precipitado con agua destilada y determinar el contenido de nitrógeno en el precipitado obtenido, conforme al procedimiento indicado en el inciso 8.6 o de acuerdo con la NMX-F-068-S-1980, Alimentos lácteos-Determinación de proteínas.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- Multiplicar el nitrógeno total por el factor 6,38 para obtener el equivalente de caseína.

$$C = \frac{V \times N \times 0.014 \times 1000}{10} \times 6.38$$

donde:

- C son los gramos por litro de caseína en la leche;
- V son los mL de ácido clorhídrico requeridos en la titulación;
- N es la normalidad de ácido clorhídrico;
- 0.014 son los miliequivalentes del nitrógeno;
- 6.38 es el factor para convertir el nitrógeno a proteína de leche.

ANEXO 6.3

DETERMINACIÓN DE ACIDEZ

NOM-155-SCFI-2003, MÉTODO DE PRUEBA 8.3

FUNDAMENTO

La leche generalmente tiene una acidez de 1.3 a 1.7 g/L expresada en ácido láctico. La acidez normal de la leche se debe principalmente a su contenido de caseína (0.05±0.08%) y de fosfatos. También contribuyen a la acidez el dióxido de carbono (0.01 – 0.02%), los citratos (0.01%) y la albúmina (menos de 0.001%).

La acidez se mide con base a una titulación alcalimétrica con hidróxido de sodio 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador y un potenciómetro como apoyo para la lectura del vire a pH 8.3.

MATERIAL Y EQUIPO

- Pipeta graduada de 10 mL
- Pipeta volumétrica de 20 mL
- Matraz de 125 mL
- Bureta de 50 mL graduada en 0.1 ml
- Potenciómetro

REACTIVOS

- Hidróxido de Sodio 0.1 N (valorado)
- Solución indicadora al 1% de fenolftaleína
- Alcohol etílico
- Solución indicadora al 0,12% de cloruro o acetato de rosanilina
- Solución buffer pH 7
- Solución buffer pH 10

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

- Pesar 1.0 g de fenolftaleína en 100 mL de alcohol etílico
- Pesar 0.12 de cloruro o acetato de rosanilina y disolverlo con alcohol etílico al 95% (v/v), adicionar 0.5 mL de ácido acético glacial y llevar a un volumen de 100 mL.
- Diluir 1 mL de esta solución con 500 mL de alcohol etílico al 95%.

- Almacenar ambas soluciones en frasco color ámbar.

PROCEDIMIENTO

- Medir 20 mL de muestra en un matraz. Añadir 2 mL de fenolftaleína y titular con hidróxido de sodio 0.1 N hasta vire a pH 8.3 y la aparición de un color rosado persistente, cuando menos un minuto, empleando como guía de color una muestra de control de acetato o cloruro de rosanilina preparada de la siguiente manera:
- Medir 20 mL de muestra en un matraz. Añadir 2 mL de la solución de acetato o cloruro de rosanilina; agitar con una varilla de vidrio.

CÁLCULO DE LA ACIDEZ

$$\text{Acidez (g/L)} = \frac{V \times N \times 90}{M}$$

Donde:

- V mL de solución de NaOH 0,1 N, gastados en la titulación
N normalidad de la solución de NaOH
M volumen de la muestra en mL

ANEXO 6.6

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS NO GRASOS NOM-155-SCFI-2003, MÉTODO DE PRUEBA 8.4

FUNDAMENTO

Una vez determinado el contenido de sólidos totales de la leche y el contenido de grasa, se determina el contenido de sólidos no grasos por cálculo, ya que los sólidos no grasos están formados por lactosa, proteínas y sales minerales.

MATERIAL Y EQUIPO

- No se requiere

REACTIVOS Y SOLUCIONES

- No se requiere

PROCEDIMIENTO

- Determinar los sólidos totales de acuerdo con la NOM-116-SSA1-1994 y registrar el resultado.
- Determinar el contenido de grasa de acuerdo con la NMX-F-387-1984, o la NMX-F-210-1971, o la NOM-086-SSA1-1994, según sea el caso.

CÁLCULOS

$\% \text{ de sólidos totales} = 100 - \% \text{ de humedad}$

$\% \text{ de sólidos no grasos} = \% \text{ de sólidos totales} - \% \text{ de grasa}$

Para convertir los % de sólidos no grasos en g/L se utiliza la siguiente fórmula

$\text{Sólidos totales g/L} = \% \text{ de sólidos totales} \times 10 \times \text{densidad de la leche}$

ANEXO 6.7**DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS POR MICRO KJELDAHL
NOM-155-SCFI-2003, MÉTODO DE PRUEBA 8.5****FUNDAMENTO**

Este método se basa en la descomposición de los compuestos de nitrógeno orgánico por ebullición con ácido sulfúrico. El hidrógeno y el carbón de la materia orgánica se oxidan para formar agua y bióxido de carbono. El ácido sulfúrico se transforma en sulfato, el cual reduce el material nitrogenado a sulfato de amonio.

El amoníaco se libera después de la adición de hidróxido de sodio y se destila recibiendo en una solución al 2% de ácido bórico. Se titula el nitrógeno amoniacal con una solución valorada de ácido, cuya normalidad depende de la cantidad de nitrógeno que contenga la muestra. En este método se usa el sulfato de cobre como catalizador y el sulfato de potasio para aumentar la temperatura de la mezcla y acelerar la digestión.

MATERIAL Y EQUIPO

- Equipo de digestión con control de temperatura ajustable
- Unidad de destilación y titulación, para aceptar tubo de digestión de 250 mL y frascos para titulación de 500 mL
- Tubos de digestión y destilación
- Probeta de 50 mL
- Material común de laboratorio

REACTIVOS

- Ácido sulfúrico concentrado al 98%
- Hidróxido de sodio al 40%
- Sulfato de Potasio
- Sulfato de Cobre pentahidratado
- Ácido bórico al 2%
- Solución de ácido clorhídrico 0.1N

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Agregar al tubo de digestión 12 g de sulfato de potasio y 1 mL de la solución catalizadora de sulfato de cobre pentahidratado. Calentar la leche a $38^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, mezclar la muestra para homogeneizar. Pesar 5 ± 0.1 mL de la muestra caliente e inmediatamente colocarla en el tubo de digestión. (Nota: Los pesos deben ser registrados con una exactitud de 0.0001 g). Adicionar 20 mL de ácido sulfúrico. Cada día se deberá correr un blanco (todos los reactivos sin muestra).

PROCEDIMIENTO

- DIGESTIÓN.

Al inicio se fija una temperatura baja en el equipo de digestión (180 a 230°C) para evitar la formación de espuma. Se colocan los tubos, con el extractor conectado en el equipo de digestión. El vacío debe ser suficientemente bueno para eliminar los vapores. Digerir por 30 minutos o hasta que se formen vapores blancos. Incrementar la temperatura de 410 a 430°C y digerir hasta que se aclare la solución. Podría ser necesario incrementar la temperatura en forma gradual, cada 20 minutos, para el control de la espuma. Evitar que la espuma dentro del tubo alcance el extractor o llegue a una distancia de 425 cm del borde superior del tubo. Después de que la solución se aclare (cambio de color azul claro a verde), continúe la ebullición cuando menos por una hora. El tiempo aproximado de digestión es de 1.75 a 2.5 horas. Al término de la digestión, la solución debe ser clara y libre de material sin digerir. Enfriar la solución a temperatura ambiente (aproximadamente por 25 minutos). La solución digerida debe ser líquida con pequeños cristales en el fondo del tubo (la cristalización excesiva indica poco ácido sulfúrico residual al fin de la digestión y podría generar bajos resultados. Para reducir las pérdidas de ácido durante la digestión, reducir la tasa de extracción de vapores). Después de enfriar la solución a temperatura ambiente, adicionar 85 mL de agua (el blanco puede requerir 100 mL) a cada tubo, tape para mezclar y deje enfriar a temperatura ambiente. Cuando se adiciona agua a temperatura ambiente se pueden formar algunos cristales, para después integrarse nuevamente a la solución; esto es normal. Los tubos se pueden tapar para llevar a cabo la destilación posteriormente.

- DESTILACIÓN.

Coloque la solución de hidróxido de sodio al 50% (o 40%) en el depósito de alkali de la unidad de destilación. Ajuste el volumen de dosificación a 55 mL de NaOH al 50% (65 mL en el caso de NaOH al 40%). Coloque el tubo de digestión que contiene la solución en la unidad de destilación. Coloque un matraz Erlenmeyer de 500 mL con 50 mL de la solución de ácido bórico al 4% con indicador sobre la plataforma de recepción, asegurando que el tubo del condensador se encuentre dentro de la solución de ácido bórico. Destilar hasta obtener un volumen de 150 mL. Retirar el matraz de recepción. Titular el destilado con HCl 0.1N. Registrar el volumen utilizado de HCl con una exactitud de 0.05 mL.

CÁLCULO

- El nitrógeno presente en la muestra, expresado en por ciento se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0,014 \times 100}{m}$$

En donde:

- V Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación, en mL
 - N Normalidad del ácido clorhídrico
 - m Masa de la muestra en gramos
 - 0.014 Miliequivalente del nitrógeno
- El por ciento de proteínas se obtiene multiplicando el % de nitrógeno obtenido por el factor de 6.38.

Nota: Para convertir el % de proteína a g/L debe aplicarse la siguiente fórmula:

Proteína en g/L = % de proteína x 10 x densidad de la leche

ANEXO 6.8

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD @ 15°C NMX- F- 424- S-1982⁵⁹

INTRODUCCIÓN

La leche es una emulsión grasa en agua; consecuentemente su densidad es una función de la densidad de la grasa y del agua, así como de las proporciones de estos componentes. La densidad de la grasa es de aproximadamente 0.93 y la de los sólidos no grasos 1.5; cuando el

⁵⁹ Norma Mexicana **NMX-F-424-S-1982** "Productos alimenticios para uso humano, determinación de la densidad de la leche fluida".

contenido de grasa en la leche aumenta la densidad disminuye; cuando los sólidos no grasos de la leche aumentan, la densidad también se incrementa.

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana establece el procedimiento para determinar la densidad en leche fluida.

FUNDAMENTO

Este método se basa en la determinación de la densidad de la leche utilizando el lactodensímetro de Quévenne, haciendo la lectura a 288 K (15°C), aunque también puede efectuarse a otras temperaturas pero corrigiendo la lectura a 288 K (15°C)

MATERIALES

- Probeta de vidrio, plástico o metal, de 500 cm³
- Lactodensímetro de Quévenne.
- Termómetro certificado de escala corta de 273 K - 323 K (0°C - 50°C).
- Material común de laboratorio.

PROCEDIMIENTO

Colocar la muestra ya homogénea (haciéndola pasar previamente una o dos veces de un recipiente a otro) en la probeta, sobre una superficie plana y horizontal. Evitar la formación de espuma. Introducir el lactodensímetro en la parte central, evitando que se adhiera a la pared interna de la probeta. Transcurridos aproximadamente 30 segundos hacer la lectura en la escala correspondiente, evitando error de paralaje. Corregir la lectura del lactodensímetro de acuerdo con la temperatura de la leche al tiempo de la medición. La lectura correspondiente a la escala está considerada para determinaciones a 288 K (15°C).

Sumar 0.0002 por cada grado mayor de 288 K (15°C) y restar 0.0002 por cada grado menor de 288 K (15°C).

Cuando se utiliza el lactodensímetro de Quévenne, la escala de graduaciones indica las milésimas por agregar a la unidad (1.000) por cada grado de temperatura, superior o inferior a 288 K (15°C); sumando o restando respectivamente la cifra 0.2 a la lectura obtenida.

Por ejemplo, si la lectura en la escala indica 32 y la temperatura fue de 289 K (16°C), la densidad correspondiente en este caso será de 1.0322; si la lectura fue hecha a 283 K (10°C) y el valor obtenido fue de 31 el valor corregido será 1.030.

ANEXO 6.4
DETERMINACIÓN DE GRASA
NOM-155-SCFI-2003, MÉTODO DE PRUEBA 8.10

FUNDAMENTO

La grasa existe en la leche en forma de emulsión que se estabiliza por medio de los fosfolípidos y las proteínas. El método Gerber se basa en la ruptura de la emulsión por la adición de ácido sulfúrico concentrado.

La grasa libre puede separarse por centrifugación por la adición de una pequeña cantidad de alcohol amílico, el cual actúa como un agente tensoactivo que permite la separación nítida de las capas de grasa y la capa ácido-acuosa.

REACTIVOS

Todos los reactivos que se indiquen deben ser grado analítico; cuando se indique agua, debe entenderse agua destilada.

- Ácido sulfúrico puro, de peso específico 1,820 +/- 0,005 a 20°C aproximadamente al 90%, libre de óxido de nitrógeno y otras impurezas. Se puede preparar a partir de H₂SO₄ 98% w/w, midiendo aproximadamente 908 mL de éste más 160 mL de agua (verificar sistemáticamente el peso específico del ácido sulfúrico).
- Alcohol amílico 98% v/v, densidad a 20°C de 0,808 a 0,818 g/mL. En lugar de alcohol amílico se puede utilizar alcohol iso-amílico libre de grasa y furfurool, de peso específico de 0,810-0,812 a 20°C.
- Tanto el ácido sulfúrico como el alcohol de cada remesa debe someterse a un control de pureza, colocando en un butirómetro, 11 mL de agua destilada, añadir 10 mL de ácido sulfúrico y 1 mL de alcohol amílico, cerrar el butirómetro y centrifugar durante 3 minutos. Después de 24 h de reposo, no debe observarse ningún trozo de grasa visible en la superficie.

MATERIALES

- Gradillas de acero inoxidable o de material plástico resistente a los ácidos para los butirómetros.
- Medidor automático o pipeta de seguridad para liberar 10,0 mL ± 0,2 mL de ácido sulfúrico.
- Medidor automático o pipeta de seguridad para liberar 1,0 mL ± 0,05 mL de alcohol amílico.
- Pipetas volumétricas de 11 mL/20°C.

- Tapones tipo Gerber, que consiste de un casquete de goma fijado a un juego metálico de cabeza plana, al cual se le adapta un pulsador por el orificio que define el aro metálico del tapón.

Nota.- Todos los equipos materiales e instrumentos que se indican, deben calibrarse.

EQUIPOS

Butirómetro de vidrio, resistente a soluciones ácidas, con las siguientes características:

Butirómetro	Tipo de leche fluida	Nota
Rango de escala de 0 a 0,5%, con división de 0,02%	Leche descremada	Para este caso se puede utilizar el doble de volumen de leche y reactivos
Rango de escala de 0 a 4,0%, con división de 0,05%	Leche entera y parcialmente descremada	
Rango de escala de 0 a 5%, 0 a 6%, 0 a 7%, 0 a 8%, con división de 0,1%	Leche entera	
Rango de escala de 0 a 10%, con división de 0,2%	Leche entera con alto contenido de grasa	

- Centrífuga capaz de girar a una velocidad media de 1 200 rpm y puede o no tener control de temperatura.
- Baño María con control de temperatura para mantener a $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y altura tal para sumergir los butirómetros en posición vertical, con toda la escala completamente inmersa.
- Termómetro de mercurio con capacidad para medir $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Antes de analizar las muestras de leche deben atemperarse a 20°C . Es preciso alcanzar esta
- temperatura, porque todas las pipetas aforadas están calibradas a 20°C .
- Si a 20°C no se obtiene un buen reparto de la materia grasa, se calienta la muestra de 35°C - 40°C , se mezcla con cuidado y se enfría rápidamente a $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Una vez atemperada a 20°C , las muestras de leche se deben mezclar cuidadosamente, para evitar la formación de espuma, y permitir un reparto homogéneo de la materia grasa, inmediatamente proceder de la siguiente manera:

PROCEDIMIENTO

- Colocar los butirómetros limpios y secos en una gradilla, se introducen en cada uno de ellos 10 ml de ácido sulfúrico, usando el medidor automático, cuidando de no impregnar el cuello del butirómetro.
- Mezclar la muestra a analizar, invirtiendo el recipiente tapado en tres o cuatro tiempos e inmediatamente medir 11 mL de leche (realizar el análisis por duplicado), depositándola en los butirómetros, de la siguiente manera:
- La punta de la pipeta debe estar apoyada en posición oblicua (aproximadamente en ángulo de 45°) contra la pared interna del cuello del butirómetro, para permitir que la leche se deslice a lo largo del vidrio y se superponga al ácido sulfúrico sin producir rastros de ennegrecimiento (evitar que el ácido y la leche se mezclen).
- Para terminar, se añade 1,0 mL de alcohol amílico dentro de cada butirómetro por medio del medidor automático.
- Tapar el butirómetro, utilizando el pulsador como punto de presión.
- Agitar los butirómetros en dos tiempos; en un primer tiempo se debe realizar una agitación vigorosa, sin interrupción y sin inversiones, hasta conseguir que la leche y el ácido sulfúrico se mezclen y la proteína se disuelva.
- Posteriormente invertir los butirómetros unas cuantas veces, permitiendo que el ácido de la sección de la escala graduada y el de la ampolla terminal se mezclen.
- La agitación termina cuando no queden vestigios de caseína sin disolver.
- Durante esta operación se recomienda tener el butirómetro envuelto en una tela, ya que la mezcla de ácido sulfúrico con la leche ocasiona una reacción exotérmica.
- Inmediatamente colocar los butirómetros en la centrifuga.
- Centrifugar los butirómetros durante 5 minutos, a la velocidad de 1000 a 1200 rpm.
- Una vez concluida la centrifugación, colocar los butirómetros, con la escala hacia arriba, en un baño María a 65°C, durante 5 a 10 minutos (tiempo necesario para permitir la separación total de la grasa), es imprescindible que la capa de la grasa en la escala se mantenga enteramente inmersa en el agua caliente.
- Remover el butirómetro del baño de agua y alzarlo verticalmente hasta que el menisco de la columna de grasa esté al nivel de los ojos. Ajustar la columna de grasa, girando con cuidado el tapón hasta colocar los límites de la capa de grasa dentro de la escala, haciendo coincidir la parte inferior de la capa de grasa con una de las divisiones de la escala del butirómetro.
- La diferencia entre esta división y la correspondiente al menisco de la parte superior de la capa de grasa, indica el contenido de grasa de la leche en porcentaje w/v, repetir la centrifugación por 5 minutos y leer el resultado, informar este último.

CÁLCULOS Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

El contenido de grasa presente en la muestra, expresado en porcentaje, se calcula de la siguiente manera:

$$B-A$$

donde:

A es la lectura al inicio de la columna de grasa.

B es la lectura de la parte superior de la columna de grasa

El resultado se expresa directamente en por ciento de la grasa contenida en la leche (%w/v) es decir g de grasa/100 mL de leche.

Para convertir el resultado expresado en peso/volumen (w/v), se divide el valor numérico de la lectura entre la densidad de la leche. Expresando el resultado en (w/w), es decir gramos/100 g de leche.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

La diferencia máxima permitida entre duplicados de mediciones realizadas por el mismo analista bajo las mismas condiciones de análisis para leche descremada debe ser 0,05%; para leche parcialmente descremada y entera 0,1%.

Notas:

- El número máximo de posibles repeticiones de calentamiento y centrifugación será de 2.
- Si la lectura después de la segunda centrifugación es mayor de 0,05% de la primera, agitar nuevamente y repetir el procedimiento. Si después de la tercera lectura la diferencia sigue siendo mayor a 0.05%, se anula el resultado.
- Cuando la segunda lectura es menor de 0,05% de la primera, informar el resultado de la primera.
- Si se observa la presencia de burbujas de aire en la capa de grasa se volverá a colocar el butirómetro en el baño María hasta que desaparezcan.
- Cuando se forman depósitos oscuros entre la capa de la materia grasa y la solución. La causa puede deberse a que la leche se mezcló mal mezclada con el ácido, que las impurezas procedan del ácido o que provengan de partículas de los tapones. En este caso se debe repetir el análisis.
- Si la materia grasa no se separa completamente, puede ocurrir que los butirómetros se hayan enfriado o que la cantidad de alcohol isoamílico sea insuficiente. En el primer caso, será necesario calentar el butirómetro en baño María y en el segundo caso se deberá repetir el análisis.
- En caso de usar una centrífuga con control de temperatura, no es necesario incubar los butirómetros en baño María. Se debe mantener la centrífuga a $65^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

- El analista debe consultar siempre la información respecto a la exposición y manejo seguro de los reactivos químicos especificados en este método y emplear el equipo de seguridad apropiado.
- Para la dosificación del ácido sulfúrico, el analista debe protegerse mediante guantes de caucho y gafas de protección, así como también durante la agitación del butirómetro en el cartucho.
- Limpieza de los butirómetros.- Vaciar el contenido en un recipiente especial para este fin, mientras el butirómetro se encuentra caliente. Lavar abundantemente con agua caliente y jabón empleando un cepillo, enjuagar con agua destilada y secar. Periódicamente se recomienda lavar con detergente alcalino para eliminar residuos de grasa.
- Limpieza de las tapas.- Enjuagar empleando agua caliente y dejar secar a temperatura ambiente (no estufa).

ANEXO 6.9**DETERMINACIÓN DE REDUCTORES DIRECTOS (LACTOSA)****NOM-155-SCFI-2003, MÉTODO DE PRUEBA 8.11****FUNDAMENTO**

Las proteínas de la muestra de leche, utilizando soluciones de acetato de zinc y ferrocianuro de potasio. Se filtra y en el filtrado se determina la lactosa aprovechando su propiedad de ser un azúcar reductor directo el cual reduce el cobre de sus sales alcalinas mediante una valoración volumétrica, según el método de Lane y Eynon.

REACTIVOS

- Acetato de zinc
- Ácido acético glacial
- Ferrocianuro de potasio
- Sulfato de cobre pentahidratado
- Tiosulfato de sodio
- Yoduro de potasio
- Tartrato de sodio y potasio
- Hidróxido de sodio
- Azul de metileno

- Lactosa anhidra pura
- Acido benzoico

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

- Solución de acetato de zinc. Disolver 21,9 g de acetato de zinc (Cristalino) y 3 mL de ácido acético glacial en agua y diluir a 100 mL.
- Solución de ferrocianuro de potasio. Disolver 10,6 g de ferrocianuro de potasio en 100 mL de agua destilada.
- Solución (A) de sulfato de cobre. Disolver 34,639 g de sulfato de cobre pentahidratado en agua destilada y diluir a 500 mL, utilizando un matraz volumétrico de 500 mL; filtrar a través de papel filtro whatman número 4 o equivalente. Ajustar la solución determinando el contenido de cobre en una alícuota con tiosulfato de sodio 0,1 N y yoduro de potasio al 20% hasta obtener 440,0 mg de cobre por cada 25 mL.
- Solución (B) de tartrato de sodio y potasio. Disolver 173 g de tartrato de sodio y potasio y 50 g de hidróxido de sodio en agua y diluir a 500 mL; dejar reposar 2 días y filtrar a través de papel filtro whatman número 4 o equivalente.
- Solución acuosa de azul de metileno al 0,2%. Disolver 0.2 g de azul de metileno en 100 mL de agua.
- Solución patrón de lactosa. Disolver 10 g de lactosa anhidra pura y diluir a 1 litro con solución acuosa al 0,2% de ácido benzoico.
- Titulación de la solución A-B. Medir con una pipeta volumétrica 5 mL de la solución A y 5 mL de la solución B en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Agregar 100 mL de agua, unos cuerpos de ebullición y calentar en parrilla cerrada a ebullición; agregar poco a poco con una bureta, solución patrón de lactosa hasta la casi reducción total del cobre. Añadir 1 mL de azul de metileno y continuar la titulación hasta la desaparición del color azul. Calcular los miligramos de lactosa que se necesitan para titular la solución A-B.
- Este valor corresponde al factor (F) del reactivo.

MATERIALES

- Matraz volumétrico de 250 mL.
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- Matraz Erlenmeyer de 500 mL.
- Pipetas volumétricas de 5 mL.
- Pipetas graduadas de 5 mL.
- Bureta de 50 mL graduada en décimas.
- Placa caliente.

- Balanza analítica con sensibilidad de 0,1 mg.

PROCEDIMIENTO

- Pesar 10 g a 12 g de muestra homogénea en un vaso de precipitados de 50 mL, transferir cuantitativamente con 200 mL de agua destilada caliente (40°C a 50°C) a un matraz volumétrico de 250 mL, mezclar y dejar reposar 30 min. Agregar 4 mL de la solución de ferrocianuro de potasio y 4 mL de acetato de zinc, mezclar. Aforar y filtrar.
- Medir con una pipeta volumétrica 5 mL de la solución A y 5 mL de la solución B en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Agregar 100 mL de agua, unos cuerpos de ebullición y calentar en parrilla cerrada a ebullición; agregar poco a poco con una bureta, el filtrado obtenido de la muestra, hasta la casi reducción total del cobre. Añadir 1 mL de azul de metileno y continuar la titulación hasta la desaparición del color azul.

CÁLCULOS Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La concentración de lactosa contenida en la muestra, expresada en porcentaje, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Reductores directos en lactosa} = (V / 250 (100)(F))/M$$

donde:

V son los mililitros gastados de la muestra para titular la solución A + B.

M es el peso de la muestra.

F es el factor del reactivo de Fehling, en gramos de lactosa.

ANEXO 6.10

DETERMINACIÓN DE BACTERIAS AEROBIAS EN PLACA NOM-092-SSA1-1994⁶⁰

INTRODUCCIÓN

Cuando se requiere investigar el contenido de microorganismos viables en un alimento, la técnica comúnmente utilizada es la cuenta en placa. En realidad esta técnica no pretende poner en evidencia todos los microorganismos presentes. La variedad de especies y tipos diferenciables por sus necesidades nutricionales, temperatura requerida para su crecimiento, oxígeno disponible, etc., hacen que el número de colonias contadas constituyan una estimación de la cifra realmente presente y la misma refleja si el manejo sanitario del producto ha sido el adecuado.

⁶⁰ Norma Oficial Mexicana **NOM-092-SSA1-1994**, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa

Por otra parte el recuento de termofílicos, psicofílicos y psicotróficos es importante para predecir la estabilidad del producto bajo diferentes condiciones de almacenamiento. Para obtener resultados reproducibles y por lo tanto significativos, es de suma importancia seguir fielmente y controlar cuidadosamente las condiciones.

Esta técnica puede aplicarse para la estimación de microorganismos viables en una amplia variedad de alimentos.

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece el método para estimar la cantidad de microorganismos viables presentes en un alimento, agua potable y agua purificada, por la cuenta de colonias en un medio sólido, incubado aeróbicamente.

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en el Territorio Nacional para las personas físicas o morales que requieran efectuar este método en productos nacionales y de importación, para fines oficiales.

FUNDAMENTO

El fundamento de la técnica consiste en contar las colonias, que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio. El método admite numerosas fuentes de variación, algunas de ellas controlables, pero sujetas a la influencia de varios factores.

REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con lo siguiente:

- NOM-109-SSA1-1994 Procedimiento para la Toma, Manejo y Transporte de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico.
- NOM-110-SSA1-1994 Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico.

DEFINICIÓN

Para fines de esta norma se entiende por:

Unidades Formadoras de Colonias (UFC), término que debe utilizarse para reportar la cuenta de colonias en placa, las cuales pueden surgir de una célula o de un cúmulo de células.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Cuando en esta norma se haga referencia a las siguientes abreviaturas y símbolos se entiende por:

g	gramo	pH	potencial de hidrógeno
l	litro	%	por ciento
ml	mililitro	UFC	unidades formadoras de colonias
°C	grado Celsius	h	hora

REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan, deben ser grado analítico. Cuando se indique agua, debe entenderse agua destilada, con pH cercano a la neutralidad.

MEDIO DE CULTIVO: Agar Triptona-Extracto de Levadura (agar para cuenta estándar).

INGREDIENTES	CANTIDADES
Extracto de levadura	2.5 g
Triptona	5.0 g
Dextrosa	1.0 g
Agar	15.0 g
Agua	1.0 l

PREPARACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO

- Suspender los componentes del medio deshidratado en un litro de agua. Hervir hasta total disolución.
- Distribuir en recipientes de vidrio esterilizables de capacidad no mayor de 500 ml, cantidades de aproximadamente la mitad del volumen del mismo. Esterilizar en autoclave a 121 ± 1.0 °C, durante 15 minutos. El pH final del medio debe ser 7.0 ± 0.2 a 25°C.
- Si el medio de cultivo es utilizado inmediatamente, enfriar a $45^\circ\text{C} \pm 1.0$ °C en baño de agua y mantenerlo a esta temperatura hasta antes de su uso. El medio no debe de fundirse más de una vez.
- En caso de medios deshidratados seguir las instrucciones del fabricante.
- El medio de cultivo anterior es el de uso más generalizado. Para algunos alimentos en particular se requerirá de un medio de cultivo especial que se debe indicar al describir la técnica para ese alimento.

MATERIALES

- Todo el material que tenga contacto con las muestras o los microorganismos debe estar esterilizado.
- Se requiere, los materiales mencionados en la NOM-110-SSA1-1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico.

APARATOS E INSTRUMENTOS

- Se requiere, además de los mencionados en la NOM-110-SSA1-1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico, los siguientes:
- Incubadora con termostato que evite variaciones mayores de $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$, provista con termómetro calibrado.
- Contador de colonias de campo oscuro, con luz adecuada, placa de cristal cuadrículada y lente amplificador.
- Registrador mecánico o electrónico.
- Microscopio óptico.
- Baño de agua con o sin circulación mecánica, provista con termómetro calibrado con divisiones de hasta 1.0°C y que mantenga la temperatura a $45 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$.

PREPARACION DE LA MUESTRA

Para la preparación de la muestra seguir la NOM-110-SSA1-1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico.

PROCEDIMIENTO

- Distribuir las cajas estériles en la mesa de trabajo de manera que la inoculación; la adición de medio de cultivo y homogenización, se puedan realizar cómoda y libremente. Marcar las cajas en sus tapas con los datos pertinentes previamente a su inoculación y correr por duplicado.
- Después de inocular las diluciones de las muestras preparadas según la NOM-110-SSA1-1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico, en las cajas Petri, agregar de 12 a 15 ml del medio preparado, mezclarlo mediante 6 movimientos de derecha a izquierda, 6 en el sentido de las manecillas del reloj, 6 en sentido contrario y 6 de atrás a adelante, sobre una superficie lisa y horizontal hasta lograr una completa incorporación del inóculo en el medio; cuidar que el medio no moje la cubierta de las cajas. Dejar solidificar.
- Incluir una caja sin inóculo por cada lote de medio y diluyente preparado como testigo de esterilidad.

- El tiempo transcurrido desde el momento en que la muestra se incorpora al diluyente hasta que finalmente se adiciona el medio de cultivo a las cajas, no debe exceder de 20 minutos.
- Incubar las cajas en posición invertida (la tapa hacia abajo) por el tiempo y la temperatura que se requieran, según el tipo de alimento y microorganismo de que se trate, véase el Cuadro No. 1.

CUADRO No. 1

Grupo Bacteriano	Temperatura °C		Tiempo de Incubación h	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Termofílicos aerobios	53	57	46	50
Mesofílicos aerobios	33	37	46	50
Psicrotróficos	18	22	72	120
Psicrofílicos	3	7	168	240

- En la lectura seleccionar aquellas placas donde aparezcan entre 25 a 250 UFC, para disminuir el error en la cuenta.
- Contar todas las colonias desarrolladas en las placas seleccionadas (excepto las de mohos y levaduras), incluyendo las colonias puntiformes. Hacer uso del microscopio para resolver los casos en los que no se pueden distinguir las colonias de las pequeñas partículas de alimento.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS

CÁLCULO DEL MÉTODO.

Después de la incubación, contar las placas que se encuentren en el intervalo de 25 a 250 colonias, usando el contador de colonias y el registrador. Las placas de al menos una de tres diluciones deben estar en el intervalo de 25 a 250. Cuando sólo una dilución está en el intervalo apropiado, véase el cuadro 2, ejemplo 1. Calcular la cuenta promedio por gramo o mililitro de dicha dilución y reportar.

Cuando dos diluciones están en el intervalo apropiado, determinar la cuenta promedio dada por cada dilución antes de promediar la cuenta de las dos diluciones para obtener la cuenta en placa por gramo o mililitro, véase el cuadro 2, ejemplo 2.

Con el fin de uniformar los criterios para el reporte de las cuentas en ensayos donde las placas presenten situaciones no contempladas en los ejemplos anteriores, se presentan las siguientes guías:

- **PLACAS CON MENOS DE 25 COLONIAS.**- Cuando las placas corridas para la menor dilución muestran cuentas de menos de 25 colonias, contar el número de colonias presentes en dicha dilución, promediar el número de colonias y multiplicar por el factor de dilución para

obtener el valor estimado de cuenta en placa. Aclarar en su informe esta situación agregando la leyenda "valor estimado", véase el cuadro 2, ejemplo 3.

- **PLACAS CON MÁS DE 250 COLONIAS.-** Cuando el número de colonias por placa exceda de 250, contar las colonias en aquellas porciones de la placa que sean representativas de la distribución de colonias. Contar por ejemplo, una cuarta parte o una mitad del área de la caja y multiplicar el valor obtenido por 4 ó 2, respectivamente. Si solamente pueden contarse algunos cuadros, considerar que el fondo de una caja Petri de 100 mm de diámetro contiene 65 cuadros de la cuadrícula del contador. Aclarar en el informe esta situación agregando la leyenda "valor estimado", véase el cuadro 2, ejemplo 4.

COLONIAS EXTENDIDAS.- Las colonias extendidas pueden presentarse en las siguientes formas:

1. Cadenas de colonias no separadas claramente entre sí, que parecen ser causadas por la desintegración de un cúmulo de bacterias.
 2. Colonias que se desarrollan en película entre el agar y el fondo de la caja.
 3. Colonias que se desarrollan en película en la orilla de la caja sobre la superficie del agar.
 4. Colonias de crecimiento extendido y en algunas ocasiones acompañadas de inhibición del crecimiento, que en conjunto exceden el 50% de la caja o represión del crecimiento que por sí mismo excede el 25% de la superficie de la caja.
- Cuando es necesario contar en cajas que contienen colonias extendidas que no están incluidas en 4, contar cualquiera de los tipos 1, 2 ó 3, como provenientes de una sola fuente. En el caso de las colonias del tipo 1, si la caja contiene una sola cadena, contar como una sola colonia, si la caja contiene varias cadenas que parecen originarse de fuentes separadas, contar cada cadena como colonia individual. No contar cada colonia de la cadena individualmente. Las colonias del tipo 2 y 3 generalmente se observan como crecimiento diferenciable de otras colonias y se cuentan como tales. Los crecimientos tipo 4, reportarlos como crecimiento extendido. En caso de que una dilución se encuentre dentro del rango y otra dilución presente colonias de crecimiento extendido, reportar la dilución en la que se pueden contar las colonias, véase el cuadro 2, ejemplo 5
 - **PLACAS SIN COLONIAS.-** Cuando las placas de todas las diluciones no muestran colonias, reportar la cuenta en placa como menor que una vez el valor de la dilución más baja usada, véase el cuadro 2, ejemplo 6.
 - **PLACAS CORRIDAS POR DUPLICADO;** una con crecimiento dentro del intervalo adecuado y otra con más de 250 colonias.- Cuando una placa tiene entre 25 y 250 colonias y su duplicado más de 250 colonias, contar ambas placas incluyendo la que está fuera del intervalo para determinar la cuenta en placa, véase el cuadro 2, ejemplo 7.
 - **PLACAS CORRIDAS POR DUPLICADO;** una placa de cada dilución dentro del intervalo de 25 a 250 colonias.- Cuando una placa dentro de diferentes diluciones contiene el número de colonias especificadas en el intervalo, contar el número de colonias de las cuatro placas para calcular la cuenta en placa, véase el cuadro 2, ejemplo 8.

- PLACAS CORRIDAS POR DUPLICADO, ambas placas de una dilución dentro del intervalo de 25 a 250 y sólo una de la otra dilución dentro del mismo. Contar las cuatro cajas incluyendo aquélla con menos de 25 o más de 250 colonias, para calcular la cuenta en placa, véase el cuadro 2, ejemplo 9.
- Después de contabilizar las colonias en las placas seleccionadas, multiplicar por la inversa de la dilución para obtener el número de UFC por mililitro o gramo de la muestra. Redondear la cifra obtenida en la cuenta de manera que sólo aparezcan dos dígitos significativos al inicio de esta cifra. Para redondear, elevar el segundo dígito al número inmediato superior cuando el tercer dígito de la derecha sea cinco o mayor (por ejemplo: 128 redondear a 130). Si el tercer dígito es cuatro o menos, reemplazar el tercer dígito con cero y el segundo dígito mantenerlo igual (Por ejemplo: 2417 a 2400):

INFORME DE LA PRUEBA

Reportar como: Unidades formadoras de colonias, ___ UFC/g o ml, de bacterias aerobias en placa en agar tripton extracto de levadura o agar para cuenta estándar, incubadas _____ horas a _____ °C.

CUADRO No. 2
CÁLCULO DE LOS VALORES DE LA CUENTA EN PLACA
(ENSAYOS POR DUPLICADO)

Ejemplo número	Colonias contadas			UFC/g o ml
	1: 100	1: 1000	1: 10000	
1	> 250	178	16	180000
	> 250	190	17	
2	> 250	220	25	250000
		238	28	
3	18	2	0	1600
	14	0	0	
4	> 250	> 250	512	5000000
	> 250	> 250	495	
5	> 250	240	34	crecimiento extendido
	> 250	235		
6	0	0	0	< 100
7	> 250	240	24	250000
	> 250	268	19	
8	> 250	216	23	280000
	> 250	262	42	
9	> 250	215	20	230000
	> 250	235	26	
	> 250	275	32	
	> 250	225	26	

7. BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Nacional de Salud Pública
Encuesta nacional de nutrición 1999
Estado nutrición de niños y mujeres en México
www.insp.mx/enn
- Secretaría e Economía
Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003, "Leches, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba."
- Secretaría de Salud
Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-144-SSA1-1995, "Bienes y servicios. Leche rehidratada y reconstituida, pasteurizada y ultrapasteurizada. Disposiciones y especificaciones sanitarias."
- Secretaría de Salud
NORMA Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002, "Productos y servicios. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Especificaciones sanitarias."
- Secretaría de Salud
NORMA Oficial Mexicana NOM-143-SSA1-1995, "Bienes y servicios – Método de prueba microbiológico para alimentos – Determinación de *Listeria monocytogenes*."
- Secretaría de Salud
Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización."
- Secretaría de Salud
Norma Oficial Mexicana, NOM-117-SSA1-1994 "Bienes y servicio – Método de prueba para determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, cinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrofotometría de absorción atómica."
- Secretaría de Salud
Norma Oficial Mexicana, NOM-116-SSA1-1994 "Bienes y servicio – Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico – Método por arena."

- Secretaría de Salud
Norma Oficial Mexicana, NOM-115-SSA1-1994 "Bienes y servicio – Método para la determinación de *Staphylococcus aureus* en alimentos."

- Secretaría de Salud
Norma Oficial Mexicana, NOM-114-SSA1-1994 "Bienes y servicio – Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos."

- Secretaría de Salud
Norma Oficial Mexicana, NOM-113-SSA1-1994 "Bienes y servicio – Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa."

- Secretaría de Salud
Norma Oficial Mexicana, NOM-086-SSA1-1994 "Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales."

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-F-026-1997-SCFI "Leche - denominación, especificaciones comerciales y método de prueba."

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-082-1982 "Análisis de agua – Determinación de olor."

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-045-SCFI-2001 "Análisis de agua – Determinación de color platino – cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba."

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-072-SCFI-2001 "Análisis de agua – Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba."

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-073-SCFI-2001 "Análisis de agua – Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba."

-
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-108-SCFI-2001 "Análisis de agua – Determinación de cloro libre y cloro total– método de prueba."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-008-SCFI-2000 "Análisis de agua – Determinación de pH – método de prueba."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-042-1987 "Calidad del agua – Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-036-SCFI-2001 "Análisis del agua – Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – método de prueba."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-AA-051-SCFI-2001 "Análisis del agua – Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – método de prueba."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-F-234-1972 "Método de prueba para la determinación de vitamina A en leches."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-F-114-S-1981 "Alimentos para humanos – Grasas vegetales o animales – Determinación del punto de fusión por el método de Wiley."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-F-154-1987 "Alimentos para humanos – Grasas vegetales o animales – Determinación del índice de peróxido."
 - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Norma Mexicana, NMX-F-527-1988 "Alimentos – determinación de sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos en suspensión en agua."

-
- Dr. Bernhard von Bockelman and Dr. Irene von Bockelman
Long-Life Products: Heat-Treated, Aseptically Packed: A Guide to Quality
Fälth & Hässler, Värnamo, Sweden

 - J.G. Zadow
Whey and Lactose Processing
Elsevier Applied Science
Gran Bretaña 1992

 - Gösta Bylund, M.Sc.
Dairy Processing Handbook
Tetra Pak Processin Systems AB
S-221 86 Lund Sweden

 - Dr. Charles Alais
Ciencia de la leche, Principio de técnica lechera
Compañía Editorial Continental
Décima Tercera Reimpresión, México, 2001

 - Eric Kragh Iversen
Journal of Dairy Technology
Recombined Milk, NM 2-85
Scandinavia

 - Kirk-Othmer
Encyclopedia of Chemical Technology
Third Edition Vol. 7 Desinfectants and Antiseptics

 - APV Australia, press information
Manufacturing Recombined Dairy Products
Septiembre 1999

 - Albion Laboratories, Inc.
Ferrochel Technical Monograph
Ferrochel 5/95 1.0.

- Basf Health & Nutrition
Products for the Foods and Pharmaceutical Industry, Technical Information
BASF 1999, pp 14 - 18, 35 - 37

- Arnold H. Jonhson, Ph,D. Martin S. Paterson, Ph, D.
Encyclopedia of Food Technology,
AVI Publishing Company, INC. Westport,
Connecticut 1974, vol. II, pp 365 - 367

- Jairus R.D. David; Ralph H. Graves; V.R. Carlson
Aseptic Processing and Packaging of Food.
CRC Press U.S.A. 1996.