



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
NÚCLEO UNIVERSITARIO “RAFAEL RANGEL”
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
ÁREA: PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS
TRUJILLO – ESTADO TRUJILLO

*ANÁLISIS DE LA LÍNEA TECNOLÓGICA DEL ÁREA DE YOGURT FIRME
EN LA EMPRESA NACIONAL “LÁCTEOS LOS ANDES” CON EL FIN DE
MEJORAR SU CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN*

Realizado por:
Paredes P. Eylin C.

Tutor Académico
Ing. Miguel Manzanilla

Asesor Académico
Ing. Ciprian Delgado

Tutor Industrial
Ing. Carlos Pérez

Noviembre, 2008



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
NÚCLEO UNIVERSITARIO “RAFAEL RANGEL”
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
ÁREA: PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS
TRUJILLO – ESTADO TRUJILLO

***ANÁLISIS DE LA LÍNEA TECNOLÓGICA DEL ÁREA DE YOGURT FIRME
EN LA EMPRESA NACIONAL “LÁCTEOS LOS ANDES” CON EL FIN DE
MEJORAR SU CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN***

Realizado por:
Paredes P. Eyllin C.

Trabajo de Grado presentado a la Ilustre Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario “Rafael Rangel” como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Agrícola.

Noviembre, 2008

DEDICATORIA

A **Dios Todopoderoso** por darme la vida, por tu misericordia, eres la luz que guía mi camino y la esperanza que me motiva a vivir, a soñar, a pensar que cada día será mejor que el anterior; se que estando a tu lado todo va a estar bien.

A **mis padres, María y Roberto**, ustedes son las personas más importantes en mi vida. Siempre nos han dado a mi hermano y a mí, su amor y comprensión, me han enseñado a tener fe, a seguir siempre hacia adelante, a respetar a los demás y a ser humilde, entre otras cosas. Le doy gracias a Dios por tener unos padres como ustedes, los amo.

A **mi hermano David**, por todos los momentos que hemos compartido, deseo que cumplas todas tus metas y que sigas siendo esa persona segura y constante en la vida, te quiero.

A **mi abuela Rosaura**, porque eres la mejor persona que conozco, por ser tan humilde, solidaria y generosa, has dedicado tu vida a tus hijos y nietos. Gracias abuela por darnos tu amor, te quiero mucho.

A **mis primos y primas**, para que mi logro les sirva de estímulo. Y que sigan estudiando para que cada día sean mejores personas, tanto en lo personal como en lo profesional.

A **mi abuela Juana**, a **mi tío Juan**, a mis demás tíos y tías, a toda mi familia, les dedico mi triunfo y quiero que compartan conmigo la alegría de vivir este momento.

Para ustedes es **mi triunfo**.

GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la dicha de vivir este momento y de poder compartirlo con mis seres queridos.

A **mis padres**, porque gracias a ustedes hoy estoy culminando esta meta, me han acompañado y apoyado en todo momento, gracias por estar siempre conmigo.

A **mi hermano David** que ha estado para ayudarme cuando lo he necesitado.

A la ilustre **Universidad de Los Andes**, por darme la oportunidad de realizar mis estudios y de ser parte de ésta institución.

A **todos mis profesores**, que me enseñaron y prepararon a lo largo de estos años para que hoy yo sea una profesional.

A mi tutor y asesor, **Miguel Manzanilla** y **Ciprian Delgado**, por sus enseñanzas y contribución para realizar este trabajo.

A la **Empresa Nacional Lácteos Los Andes**, por abrirme sus puertas para que yo pudiera realizar mis pasantías.

A mi tutor industrial, el ingeniero **Carlos Pérez**, por su colaboración y paciencia; y a todo el personal del Departamento de Producción de Lácteos Los Andes.

Al personal del **Departamento de Organización y Métodos** de la empresa, Carolina Cabrera, Luís Finol y Elio Armas, por su receptividad y su colaboración durante mis pasantías.

A mis **amigas y compañeros de estudio**: Lohana, Kharellys, María Alejandra, Maritza, Naivin, Itamar, Narlem, Luís y Jhony; por acompañarme y ayudarme a alcanzar esta meta.

A **mi familia** y a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a realizar este sueño.

MUCHAS GRACIAS.



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
NÚCLEO UNIVERSITARIO “RAFAEL RANGEL”
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
TRUJILLO, ESTADO TRUJILLO

**ANÁLISIS DE LA LÍNEA TECNOLÓGICA DEL ÁREA DE YOGURT FIRME
EN LA EMPRESA NACIONAL “LÁCTEOS LOS ANDES” CON EL FIN DE
MEJORAR SU CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**

Realizado por:
Paredes P. Eyllin C.

Tutores:
Manzanilla Miguel.
Delgado Ciprian.
Pérez Carlos.

RESUMEN

Uno de los principales derivados lácteos que comercializa la Empresa Nacional Lácteos Los Andes (ENLANDES) es el yogurt, en todas sus presentaciones: firme, batido y líquido; sin embargo, en el área encargada de elaborar los yogures firme y batido (área de *Yogurt Firme*) se presenta con frecuencia retrasos en el proceso productivo y por ende una disminución de la producción. En tal sentido se realizó un análisis de la línea tecnológica de dicha área con el fin de establecer una posible solución a éste problema, tal análisis se enmarca dentro de los estudios descriptivos no experimentales. El desarrollo de este estudio comprendió las siguientes etapas: revisión bibliográfica, descripción de los diferentes procesos productivos de la empresa, proceso de obtención del yogurt y caracterización de los componentes de la línea de *Yogurt Firme*; ésta línea no cuenta con los equipos para la pasteurización y homogeneización de la leche y deben hacer uso del pasteurizador y homogeneizador del área de *Derivados Lácteos*, por lo que muchas veces *Yogurt Firme* tiene que interrumpir su proceso de producción y esperar que *Derivados Lácteos* desocupe sus equipos para continuar el proceso. Debido a que éste tiempo de espera trae como consecuencia una disminución de ingresos para la empresa, se realizó el cálculo de un pasteurizador para *Yogurt Firme* y se recomienda que el equipo tenga una etapa de regeneración para enfriar la base del yogurt, con lo cual se disminuiría el tiempo de enfriamiento de la misma y aumentaría la producción. De acuerdo a los cálculos la etapa de regeneración tendría 9 placas y la etapa de calentamiento 22 placas. La inversión actual que haría la empresa al adquirir el pasteurizador y el homogeneizador sería de 214.805,13 Bs. F.

Palabras clave: yogurt, producción, análisis, línea, pasteurizador, homogeneizador.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<i>DEDICATORIA</i>	iii
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	iv
<i>RESUMEN</i>	v
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	vi
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	ix
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	x
 <i>CAPÍTULO I</i>	
<i>INTRODUCCIÓN</i>	1
 <i>CAPÍTULO II</i>	
<i>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</i>	4
 <i>2.1. Leche</i>	
Características organolépticas de la leche.....	5
Propiedades físico-químicas de la leche.....	5
Composición de la leche.....	6
 <i>2.2. Derivados Lácteos</i>	
 <i>2.3. Yogurt</i>	
Historia del yogurt.....	10
Propiedades nutricionales del yogurt.....	11
 <i>CAPÍTULO III</i>	
<i>PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA NACIONAL</i>	
<i>LÁCTEOS LOS ANDES</i>	14
 <i>3.1. Reseña Histórica De La Empresa</i>	
 <i>3.2 Departamento De Aseguramiento De La Calidad</i>	
Actividades o funciones del departamento de Aseguramiento de la Calidad.....	16
 <i>3.3. Departamento De Recepción De Leche</i>	
 <i>3.4. Departamento De Producción</i>	
Actividades o funciones del departamento de Producción.....	21

	Pág.
3.5. <i>Área De Jugos Y Néctares</i>	21
3.6. <i>Área De Pasteurización De Leche</i>	25
3.7. <i>Área De Derivados Lácteos</i>	29
Proceso de elaboración de Yogurt, Bio y Yogurtin.....	29
Proceso de elaboración del jarabe de fruta.....	33
Proceso de elaboración de Savory.....	33
3.8. <i>Área De Envasado</i>	36
3.9. <i>Área De Yogurt Firme</i>	39
Proceso de elaboración del yogurt.....	39
Yogurt Batido.....	41
Yogurt Firme, Yogurt Natural y Yogurt Descremado.....	43
Proceso de elaboración de la mermelada para el Yogurt Firme.....	45
Proceso de elaboración del jarabe para Yogurt Batido.....	46
Proceso de elaboración de Arroz con Leche.....	47
3.10. <i>Limpieza Y Desinfección De Las Líneas De Procesado</i>	50
Método fuera de sitio (COP).....	50
Método in situ (CIP).....	51
 <i>CAPÍTULO IV</i>	
PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGURT.....	55
4.1. <i>Proceso General de Elaboración de Yogurt</i>	56
Filtrado.....	56
Estandarización del contenido en grasa de la leche.....	56
Estandarización del extracto seco magro de la leche.....	58
Adición de estabilizantes.....	60
Adición de azúcares y/o agentes edulcorantes.....	60
Homogenización.....	60
Pasteurización.....	61
Inoculación.....	67
4.2. <i>Yogurt Firme</i>	67
Adición de componentes minoritarios.....	67
Envasado.....	67
Incubación.....	68
Enfriamiento y almacenamiento.....	70
4.3. <i>Yogurt Batido</i>	71
Incubación.....	71
Enfriamiento.....	71
Batido y adición de componentes minoritarios.....	71
Envasado.....	72

	Pág.
Enfriamiento y almacenamiento.....	72
 <i>CAPÍTULO V</i>	
<i>DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA TECNOLÓGICA DEL ÁREA DE YOGURT FIRME E IDENTIFICACIÓN DE SU PROBLEMÁTICA EN LA EMPRESA NACIONAL LÁCTEOS LOS ANDES.....</i>	74
<i>5.1. Equipos utilizados en el Área de Yogurt Firme.....</i>	75
<i>5.2. Situación de la línea tecnológica del Área de Yogurt Firme.....</i>	81
<i>5.3. Cálculo del intercambiador de calor de placas para el Área de Yogurt Firme.....</i>	87
<i>5.4. Presupuesto y características de los equipos necesarios en la línea tecnológica del Área de Yogurt Firme.....</i>	135
 <i>CAPÍTULO VI</i>	
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</i>	139
<i>6.1. Conclusiones.....</i>	140
<i>6.2. Recomendaciones.....</i>	141
 <i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	 142
<i>LISTA DE SÍMBOLOS.....</i>	144
<i>ANEXOS.....</i>	146

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Composición de la leche.....	7
Tabla 2.2 Aditivos utilizados para el yogurt.....	9
Tabla 2.3 Composición del yogurt entero y descremado.....	12
Tabla 3.1 Criterios de aceptación o rechazo de la leche cruda.....	19
Tabla 3.2 Condiciones de aplicación de los agentes de limpieza y saneamiento.....	53
Tabla 4.1 Tiempo (en segundos) de muerte térmica de algunas bacterias patógenas.....	62
Tabla 5.1 Tiempo de paradas en las áreas de Yogurt Firme y Derivados Lácteos.....	84
Tabla 5.2 Costo de los equipos.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 3.1	Diagrama de flujo del proceso de Recepción de Leche.....	20
Figura 3.2	Tanques de preparación de Jugos y Néctares.....	22
Figura 3.3	Intercambiador de calor de placas de Jugos y Néctares.....	23
Figura 3.4	Jugos y néctares Los Andes.....	23
Figura 3.5	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Jugos y Néctares.....	24
Figura 3.6	Descremadora.....	25
Figura 3.7	Intercambiador de doble tubo para el enfriamiento de la crema.....	26
Figura 3.8	Intercambiador de calor de placas del área de Pasteurización de Leche.....	27
Figura 3.9	Presentaciones de la leche pasteurizada y homogeneizada.....	27
Figura 3.10	Diagrama de flujo del Proceso de elaboración de Leche Pasteurizada y Homogeneizada.....	28
Figura 3.11	Tanques de incubación y enfriamiento.....	30
Figura 3.12	Diagrama de flujo de la elaboración de productos de Derivados Lácteos.....	32
Figura 3.13	Diagrama de flujo de la elaboración del jarabe de fruta.....	33
Figura 3.14	Diagrama de flujo de la elaboración de Savory.....	34
Figura 3.15	Yogurt Líquido y Savory.....	35
Figura 3.16	Presentaciones del Bio.....	35
Figura 3.17	Yogurtín.....	36
Figura 3.18	Envasadora Cherry-Burrel.....	38
Figura 3.19	Envasadora rotativa.....	39
Figura 3.20	Cava de refrigeración del Área de Yogurt Firme.....	42
Figura 3.21	Diagrama de flujo de la elaboración de Yogurt Firme y Yogurt Batido.....	44
Figura 3.22	Enfriamiento de las tinas con la mermelada.....	45
Figura 3.23	Diagrama de flujo de elaboración de la mermelada.....	46
Figura 3.24	Diagrama de flujo de la elaboración del jarabe para Yogurt Batido.....	47
Figura 3.25	Diagrama de flujo de la elaboración del Arroz con Leche.....	48
Figura 3.26	Presentaciones del yogurt firme Los Andes.....	49
Figura 3.27	Yogurt Batido Light.....	49
Figura 3.28	Arroz con Leche.....	49

	Pág.
Figura 3.29 Área de CIP.....	52
Figura 4.1 Descremadora.....	58
Figura 4.2 Esquema de un homogeneizador.....	61
Figura 4.3 Esquema de un intercambiador de calor tubular.....	63
Figura 4.4 Partes del intercambiador de placas.....	64
Figura 4.5 Flujos en un intercambiador de placas.....	64
Figura 4.6 Sistema de pasteurización.....	66
Figura 4.7 Comportamiento de cepas de cultivos de yogurt puras y mixtas....	69
Figura 4.8 Diagrama de flujo de la elaboración del yogurt.....	73
Figura 5.1 Tanque de preparación del Área de Yogurt Firme.....	76
Figura 5.2 Tanques de retención.....	77
Figura 5.3 Tanques de inoculación.....	77
Figura 5.4 Marmitas.....	78
Figura 5.5 Máquina de envasado.....	79
Figura 5.6 Intercambiador de calor de placas del Área de Derivados Lácteos.....	82
Figura 5.7 Homogenizador del Área de Derivados Lácteos.....	83

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los productos lácteos representan una necesidad básica dentro de la alimentación, por ser productos que aportan proteínas de alta calidad y los nutrientes, vitaminas y principales minerales necesarios para el ser humano.

Según la Cámara Venezolana de la Industria Láctea CAVILAC, Venezuela tuvo un ligero incremento del consumo de lácteos de 77.8 litros/persona para el año 2005 a 81.1 litros/persona en el 2007, sin embargo se quiere que alcance, al menos, los 120 litros por persona al año, que es la cantidad mínima recomendada por la FAO.

Con el fin de garantizar el suministro adecuado de productos lácteos en la población, el estado venezolano ha adquirido una de las empresas lácteas más importantes del país como lo es *Lácteos Los Andes*.

La empresa *Lácteos Los Andes* se encuentra ubicada en Nueva Bolivia, municipio Tulio Febres Cordero del estado Mérida, siendo una de las empresas lácteas más prestigiosa y que cuenta con gran aceptación de sus productos en el mercado nacional. Esta empresa se dedica a la fabricación y comercialización de leche, derivados lácteos, jugos y néctares pasteurizados, cumpliendo con los estándares de calidad exigidos para los productos que en ella se elaboran.

Uno de los principales derivados lácteos producidos por *Lácteos Los Andes* es el yogurt. El yogurt es una leche fermentada por bacterias termófilas (*Streptococcus salivarius* subsp. *termophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*). Tiene la característica de ser altamente nutritivo, de sabor agradable y fácil digestión. Una de las propiedades más destacables del yogurt es su capacidad para regenerar y mantener el equilibrio de la flora intestinal, la cual se ve muy afectada por una mala alimentación.

En Venezuela el consumo de yogurt se mantiene con tendencia al crecimiento en un mercado que produce alrededor de 40 millones de kilos al año. De acuerdo con cifras de AC Nielsen (citado por Jiménez, 2007), cada venezolano consume en promedio 1,7 kilogramos al año de yogurt, mientras que en Colombia el índice se eleva a 4 kilos. En Estados Unidos y Europa oscila entre los 8 y 10 kilogramos al año por persona.

Según AC Nielsen, la empresa *Lácteos Los Andes* lidera el mercado del yogurt firme y líquido en el país, representando un 23 por ciento del mercado total.

A pesar de los datos mencionados, el área encargada de elaborar el yogurt en la empresa *Lácteos Los Andes, Área de Yogurt Firme*, ha visto afectada su capacidad productiva. Tal situación obedece a factores relacionados con la línea de producción, que causan una disminución en la producción de yogurt y por lo tanto, genera una disminución de ingresos para la empresa. Por tal razón se hace necesario realizar un análisis de la línea tecnológica del área con el fin de determinar las causas que ocasionan dicha situación y la magnitud de sus consecuencias, con el fin de establecer las posibles alternativas de solución.

CAPÍTULO II
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LECHE.

La leche se define como el producto de la secreción normal de la glándula mamaria de vacas sanas, obtenido por uno o varios ordeños diarios, higiénicos, completos e ininterrumpidos. (Enciclopedia Agropecuaria, 2001, p. 328).

La leche derivada de otras especies va siempre seguida con la designación de la hembra productora: “leche de cabra”, “leche de oveja”, “leche de búfala”, etc.

Características organolépticas de la leche:

Según Keating y Rodríguez (1992), las características organolépticas de la leche son:

- ♦ *Aspecto:* La coloración de una leche fresca es blanca, medio aporcelanada; cuando es muy rica en grasa presenta una coloración ligeramente crema. La leche pobre en grasa o descremada es ligeramente de tono azulado.
- ♦ *Olor:* La leche fresca casi no tiene un olor característico, pero adquiere con mucha facilidad los olores del ambiente o de los recipientes en los que se le guarda.
- ♦ *Sabor:* La leche fresca tiene un sabor ligeramente dulce, dado por su contenido de lactosa. Por contacto, puede adquirir fácilmente el sabor de hierbas.

Propiedades físico-químicas de la leche:

Con respecto a las propiedades físico-químicas de la leche, Keating y Rodríguez (1992) señalan:

- ♦ *Densidad:* Puede fluctuar entre 1.028 a 1.034 g/cm³ a una temperatura de 15 °C. Esta densidad es para una leche entera, pues la leche descremada esta por encima de esos valores (alrededor de 1.036 g/cm³), mientras que una leche aguada tendrá valores menores de 1.028 g/cm³.
- ♦ *pH:* La leche es de característica cercana a la neutra. Su pH puede variar entre 6.5 y 6.65.

- ♦ *Acidez:* Una leche fresca posee una acidez de 0.15 a 0.16%. Esta acidez se debe en un 40% a la anfotérica, otro 40% al aporte de la acidez de las sustancias minerales, CO₂ disuelto y ácidos orgánicos; el 20% restante se debe a las reacciones secundarias de los fosfatos presentes.
- ♦ *Viscosidad:* La leche es un líquido más viscoso que el agua. Su viscosidad varía en general entre 1.7 y 2.2 centipoises. La viscosidad de la leche entera a 20 °C es de 2.2 y el de la leche descremada de 1.2 centipoises.
- ♦ *Punto de congelación:* En general es de -0.539 °C, teniendo un rango que va de -0.513 a -0.565 °C.
- ♦ *Punto de ebullición:* La temperatura de ebullición es de 100.17°C.
- ♦ *Calor específico:* La leche completa tiene un valor de 0.93 - 0.94 cal/g·°C y la leche descremada de 0.94 a 0.96 cal/g·°C.

Composición de la leche.

La leche es una mezcla compleja de agua, materia grasa, compuestos nitrogenados, lactosa, minerales, enzimas, vitaminas y otras sustancias que incluyen trazas de lecitina, creatinina, urea, fluoruros, acetatos, tiocianatos, ácidos orgánicos y gases disueltos. La materia grasa y las proteínas son los compuestos con mayor variación, mientras que la lactosa y los minerales son componentes más constantes. La materia grasa está presente en forma de emulsión; las proteínas forman una suspensión coloidal; la lactosa se encuentra disuelta en la fase acuosa y algunos de los minerales están ligados a las proteínas, mientras que otros forman una solución verdadera. La composición y propiedades de la leche varían por factores genéticos (especie, raza, selección), por factores nutricionales y ambientales, incluyendo el estado sanitario y el manejo que se tenga durante el proceso de producción. (Enciclopedia Agropecuaria, 2001, p. 326).

Tabla 2.1. *Composición de la leche.*

Composición típica de la leche de bovino	
<i>Componentes</i>	<i>Composición g/l</i>
Agua	905
Glúcidos (lactosa)	46
Lípidos	35
Materia grasa	34
Fosfolípidos	0,5
Esteroles, carotenos, tocoferoles	0,5
Prótidos	32
Caseína	27
Globulinas, albúminas	5,5
Sustancias nitrogenadas no proteicas	1,5
Sales	8
Del ácido cítrico	2
Del ácido fosfórico	2,6
Del ácido clorhídrico	1,7
Componentes diversos	trazas
Extracto seco total	120
Extracto seco desengrasado	88

Fuente: *Enciclopedia Agropecuaria Terranova. (2001).*

2.2. DERIVADOS LÁCTEOS.

Una manera de conservar la leche y de mejorar sus características organolépticas es transformarla en derivados. Algunos de estos productos, por el hecho de contener menor humedad y mayor acidez, como el queso, se conservan mucho más tiempo que la leche. Otros productos, como las leches fermentadas, por tener una alta acidez, se pueden conservar hasta tres semanas en refrigeración, periodo mayor que el de la conservación de la leche cruda o inclusive pasteurizada.

Además, el sabor, la viscosidad, el olor y las demás características organolépticas de la leche cambian notablemente al ser transformada; con esto se puede incrementar su consumo, especialmente entre la población infantil.

Existe una alta proporción de población adulta que presenta el síndrome de intolerancia a la lactosa; el consumo de queso, yogurt, kumis, mantequilla u otros derivados es una alternativa para no verse privados del valor nutritivo de los lácteos. En resumen, al preparar la leche se persiguen estos objetivos:

1. Prolongar la vida útil de las características nutritivas de la leche.
2. Mejorar la digestibilidad de los componentes de la leche.
3. Mejorar la palatabilidad y los atributos sensoriales.
4. Proporcionar facilidad de uso y variedad a los consumidores.

El yogurt es uno de los derivados lácteos que ha venido aumentando su popularidad en la población. El aumento de la aceptación de este producto puede ser atribuido a la introducción en el mercado de diferentes tipos de yogurt: naturales, descremados, con frutas, aromatizados o azucarados; y a la realización de buenas campañas de promoción y comercialización, encaminadas a mejorar la imagen de este producto en el mercado y aumentar así sus ventas.

2.3. YOGURT.

De acuerdo a las Normas COVENIN el yogurt se define como el producto coagulado obtenido por fermentación láctica de la leche o mezcla de ésta con derivados lácteos, mediante la acción de las bacterias lácticas *Streptococcus salivarius* subs. *termophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subs. *bulgaricus*, pudiendo estar acompañadas de otras bacterias ácido lácticas que por su actividad le confieren las características al producto terminado; estas bacterias deben ser viables y activas desde su inicio y durante toda la vida útil del producto.

Según su consistencia, el yogurt se clasifica en:

- ✓ *Yogurt Firme.*
- ✓ *Yogurt Batido.*

La diferencia entre ellos está en las propiedades reológicas del coágulo formado en la etapa de fermentación, ya que en el primer tipo la leche se deja en reposo durante el período de incubación, lo que determina la formación de un gel continuo semisólido, mientras que el yogurt batido resulta de la ruptura de la estructura del gel al final del período de incubación, antes del enfriamiento y tratamiento posterior. (Robinson y Tamime, 1991, p. 53).

Los ingredientes y aditivos utilizados en la elaboración del yogurt en nuestro país, debe cumplir con los requisitos establecidos en las normas COVENIN y en las disposiciones sanitarias vigentes.

- *Ingredientes:*

- Leche entera pasteurizada, leche parcialmente descremada pasteurizada, y/o leche descremada pasteurizada; crema de leche pasteurizada, derivados lácteos, o la mezcla de dos o más de estos productos.

- Cultivos esenciales: *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Adicionalmente se podrá utilizar otros cultivos productores de ácido láctico tales como *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium bifidum*, o sus mezclas.
- Azúcares tales como: sacarosa, fructosa, glucosa y dextrina, entre otros.
- Agregados tales como: frutas procesadas, cacao, chocolate, semillas secas como almendras, maní y similares, cereales y/o productos proteínicos vegetales.
- Gelatina en cantidad máxima 10 g/kg de producto terminado.
- Cualquier otro que tecnológicamente se requiera y sea aprobado por la autoridad sanitaria competente.

- *Aditivos*: los mencionados en la siguiente tabla.

Tabla 2.2. *Aditivos utilizados para el yogurt.*

Clasificación	Aditivo	Dosis recomendada
Colorantes (artificiales)	Allura red (rojo N° 40), azul brillante (azul N° 1), índigo carmín (azul N° 2), tartrazina (amarillo N° 5), amarillo ocaso (amarillo N° 6)	BPF
Colorantes (naturales)	Carotenos alfa, beta y gamma; apocarotenos, cúrcuma, onoto, remolacha (betaina), uva (enocianina), cantaxantina, carmín, clorofila, color caramelo, carbón vegetal.	BPF
Edulcorantes (nutritivos)	Aspartame, sorbitol, xilitol	BPF
	Manitol	Máx 2,5%
Edulcorantes (no nutritivos)	Acesulfame de potasio	BPF
	Sacarina de sodio, sacarina de potasio	Máx. 12mg/30ml de producto
	Sucralosa, ciclamato de sodio, ciclamato de potasio	BPF
Espesantes	Carboxi-metil-celulosa, metil-celulosa, hidroxipropil-metil celulosa, hidroxipropil celulosa.	BPF
	Carragenina y sus sales	BPF
	Goma arábica	Máx. 1%
	Guar	Máx. 0,5%
	Xantica o xantano	BPF
	Tragacanto	Máx. 0,1%
	Gatti	Máx. 0,1%
	Karaya	Máx. 0,02%
Algarrobo	Máx. 0,5%	

(Continuación)

Clasificación	Aditivo	Dosis recomendada
Espesantes	Alginato de potasio	Máx. 0,01%
	Pectinas	BPF
	Almidones	BPF
Saborizantes y aromatizantes	Sabor natural, sabor idéntico al natural, sabor artificial	BPF

BPF= Buenas Prácticas de Fabricación.

Fuente: Norma COVENIN 2393:2001.

Historia del yogurt.

Robinson y Tamime (1991), señalan que aunque cualquiera de los pueblos Árabes o del Medio Oriente, Asia Central, de Los Balcanes o Centro de Europa, podrían reclamar el ser la cuna de dicho alimento, su verdadero origen no se ha podido determinar, pero el nombre “yogur” es de procedencia turca. Según la tradición persa, la fecundidad y longevidad de Abraham se debieron al consumo de yogurt. Más recientemente se sostuvo que el emperador Francisco I de Francia se recuperó de la enfermedad debilitante que padecía gracias al consumo de yogurt de leche de cabra.

Los pueblos nómadas transportaban la leche fresca que obtenían de los animales en bolsas generalmente de piel de cabra. El calor y el contacto de la leche con la piel de cabra propiciaban la multiplicación de las bacterias ácidas que fermentaban la leche. La leche se convertía en una masa semisólida y coagulada. Una vez consumido el fermento lácteo contenido en aquellas bolsas, estas se volvían a llenar de leche fresca que se transformaba nuevamente en leche fermentada gracias a los residuos precedentes. El yogurt se convirtió en el alimento básico de los pueblos nómadas por su facilidad de transporte y conservación.

El "dahi", como así lo llaman en la India, es y fue considerado alimento de dioses. Plinio el viejo lo llamó alimento milagroso. Galeno, médico griego del siglo II, destacó su efecto beneficioso para los problemas del estómago. Dioscórides, también médico, lo recomendaba contra los males de hígado y tuberculosis y como depurativo general. Unos siglos más tarde se descubrirían su efecto calmante y regulador intestinal.

Las hordas nómadas búlgaras llegaron a Europa en el siglo VII y se establecieron en Los Balcanes el año 679 trayendo consigo el yogurt y ese mismo año se publica en Damasco “La gran explicación del poder de los alimentos y la

medicina” en la que doctos médicos de Grecia, Arabia; Persia, Siria e India, recomendaban el yogurt para regular el aparato digestivo.

El biólogo ruso Ilya Ilyich Mechnikov introdujo el yogurt al mundo occidental después de sus estudios en el Instituto Pasteur, lo que le valió el Premio Nobel en 1908 cuando expuso su teoría de que el gran consumo de yogur era el responsable de la inusual alta esperanza de vida de los campesinos búlgaros.

Mechnikov descubrió que el yogurt contenía bacterias capaces de convertir la lactosa, el azúcar de la leche, en ácido láctico y que este ácido hacía imposible el desarrollo de bacterias dañinas en el intestino derivadas de la descomposición de los alimentos. También descubrió la enorme cantidad de vitaminas del grupo B que contiene el yogurt.

Considerando que los lactobacilos eran esenciales para una buena salud, Mechnikov trabajó para popularizar el yogurt por toda Europa. Le correspondió a un empresario judeoespañol llamado Isaac Carasso el industrializar la producción de yogurt. En 1919 inició una planta de producción de yogurt en Barcelona, llamando a la empresa Danone en honor de su hijo Daniel.

En los últimos años este producto ha tenido una creciente demanda, lo que ha llevado a los diferentes productores de lácteos a ocuparse en la elaboración y comercialización de yogurt a nivel industrial.

Propiedades nutricionales del Yogurt.

Desde el punto de vista nutricional el yogurt es un excelente producto alimenticio de alto valor biológico. El yogurt natural contiene trazas de diversos monosacáridos y disacáridos, pero la lactosa continúa siendo el azúcar dominante, incluso después de la fermentación; la lactosa presente en el yogurt (a diferencia de la presente en la leche) no provoca reacción de intolerancia. La explicación de este fenómeno es que los microorganismos del yogurt continúan metabolizando la lactosa tras la ingestión de la misma, por lo que la cantidad de lactosa libre residual que alcanza el intestino es demasiado baja para desencadenar una reacción adversa. Por lo tanto, el yogurt es un alimento perfectamente aceptable para las personas con tendencia al padecimiento de intolerancia a la lactosa. Este grado de aceptación implica que el yogurt puede representar una fuente de energía importante en la dieta, ya que el yogurt natural contiene unos 6,4 g/100 g de carbohidratos y los yogures de frutas contienen hasta 18-20 g/100 g de sacarosa, además de otros carbohidratos asimilables. Teniendo en cuenta que cada gramo de azúcar aporta unas 4 kilocalorías de energía metabolizable, el yogurt puede jugar un importante papel en la compensación de las deficiencias energéticas. (Robinson y Tamime, 1991, p. 317).

La concentración de proteínas del yogurt es superior a la de la leche como resultado de la concentración de la misma o de la adición de extracto seco lácteo, lo que hace del yogurt una fuente de proteínas de un atractivo superior al de la leche. Estas proteínas presentan una elevada digestibilidad, característica mejorada por la proteólisis causada por los microorganismos adicionados.

El yogurt es una buena fuente de calcio, magnesio y fósforo que son los minerales más importantes para nuestros huesos. El calcio aportado, es más fácilmente asimilable y utilizable que el presente en otros productos. El fósforo y magnesio, facilitan el proceso de mineralización de los huesos, junto con la vitamina D, también presente en el yogurt.

El yogurt contiene, además, vitaminas del tipo A, B y C, ácido fólico, potasio, cinc y yodo, que complementan su valor nutritivo, haciendo de éste producto un alimento equilibrado adecuado en cualquier dieta.

Tabla 2.3. *Composición del yogurt entero y descremado.*

Composición por 100 gramos de producto		
Producto	Yogurt entero	Yogurt descremado
Calorías	109	40
Agua (g)	75,1	89,5
Grasa (g)	2,50	0,10
Proteína (g)	3,50	4,10
Carbohidratos (g)	18,10	5,50
Cenizas (g)	0,70	0,70
Calcio (mg)	150	150
Fósforo (mg)	118	118
Vitamina A (UI)	13,7	7,5
Tiamina (mg)	0,040	0,040
Rivoblavina (mg)	0,200	0,200
Piridoxina (mg)	0,046	0,046

Fuente: *Enciclopedia Agropecuaria Terranova. (2001).*

Un importante efecto beneficioso sobre la salud, es que a medida que el yogurt pasa por el intestino, el ácido láctico que contiene el producto, y quizás el que aún producen las bacterias del yogurt, destruyen las bacterias de la putrefacción presentes en el interior del intestino humano, estas bacterias producen una serie de compuestos nocivos que pueden dañar los tejidos y que tienen relación con el desencadenamiento del cáncer de intestino grueso. Se ha sugerido que este efecto se ve reforzado por la capacidad de las bacterias adicionadas al yogurt (en especial, *L.*

bulgaricus) para implantarse en el intestino y llegar a convertirse en la flora dominante, modificación que aseguraría la ausencia continuada de microorganismos de la putrefacción.

La acción sobre el sistema digestivo convierte al yogur en una auténtica defensa natural contra infecciones y enfermedades. Además, reduce el colesterol y permite absorber las grasas mucho más fácilmente. También reduce los efectos negativos de los antibióticos.

CAPÍTULO III

PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA NACIONAL LÁCTEOS LOS ANDES

CAPÍTULO III

PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA NACIONAL LÁCTEOS LOS ANDES

3.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA.

Lácteos Los Andes, ubicada en Nueva Bolivia, estado Mérida, nace el 15 de diciembre de 1986 por iniciativa de un grupo de personas encabezadas por los señores: Hilarión Machado, José Miguel Méndez, Guiseppe Spadaro y José Francisco González, quienes deciden crear su propia empresa, destinada a la producción de leche pasteurizada y envasada, cubriendo los mercados de Maracay y Valencia.

Entre 1991 y 1992, la empresa sufre un cambio organizacional tanto en el aspecto administrativo como en el aspecto operacional.

Para 1994, se crea Inversiones Milazzo, empresa que viene a complementar los productos de Lácteos Los Andes, ubicada en Cabudare, estado Lara, destinada a la producción de Jugos y Néctares Pasteurizados.

En 1994 también se pone en funcionamiento la Planta de Producción Capiú Industrial, filial de Lácteos Los Andes, ubicada en el estado Zulia, siendo su principal línea de producción el Queso Pasteurizado Los Andes.

En el año 2003, Lácteos Los Andes adquirió las marcas *Ella*, *Frutel* y *Cebú*.

El 29 de marzo del 2008, la empresa Lácteos Los Andes, fue nacionalizada y pasó a ser la Empresa Nacional Lácteos Los Andes (ENLANDES).

ENLANDES está capacitada para cubrir aproximadamente el 40% del consumo lácteo del país, procesando diariamente unos 190.000 litros de leche. Las receptorías de leche se encuentran en Santa Cruz y Villa del Rosario en el estado Zulia; en Socopó, estado Barinas y en Santa Inés, estado Lara; además cuenta con 52 centros de distribución en todo el país.

Esta empresa tiene como objetivo producir y comercializar en toda Venezuela, productos alimenticios de preferencia refrigerados; tales como jugos, leche y derivados lácteos de excelente calidad, como resultado de los sistemas de control en los procesos productivos eficientemente gestionados.

La empresa se sustenta en un Sistema de Calidad orientado a lograr la satisfacción plena de sus clientes para la cual tiene como propósito:

1. Mejorar continuamente la calidad y productividad en la elaboración de sus productos.
2. Mantener el nivel competitivo en calidad – precio – servicio.
3. Mantener el liderazgo en la distribución de sus productos.

3.2. DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

La función principal del *Departamento de Aseguramiento de la Calidad* es asegurar y controlar la permanente aplicación de procedimientos tecnológicos de fabricación, limpieza y saneamiento, para garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas, físico-químicas, microbiológicas y sensoriales de los productos finales.

El principal producto de este departamento es la garantía debidamente documentada de la calidad de los productos fabricados, de manera que lleguen al consumidor en óptimas condiciones y satisfagan sus expectativas más allá de sus requerimientos.

Actividades o funciones del departamento de Aseguramiento de la Calidad:

- a) Garantizar la calidad de los insumos a utilizar en el proceso productivo.
- b) Realizar los análisis físico-químicos, microbiológicos y sensoriales de los productos terminados o en proceso, según procedimientos establecidos por la empresa, de manera confiable y oportuna.
- c) Auditar los procedimientos para la elaboración de productos, chequeando los puntos críticos para asegurar que los productos cumplan con las especificaciones técnicas establecidas.
- d) Auditar el programa sanitario de la empresa, garantizando la seguridad y calidad de los productos fabricados.
- e) Verificar mediante auditorias, el cumplimiento de los lineamientos contemplados en las normas de Buenas Prácticas de Fabricación, según Gaceta Oficial N° SG-457-96 del MPPS en todas las áreas de *Producción, Recepción de Leche* y distribuidoras.
- f) Asesorar a las áreas de *Producción* y a la Gerencia de Planta sobre mejoras en los procesos y los métodos de trabajo, nuevas tecnologías y sistemas operativos para optimizar la calidad de los productos y la productividad de las operaciones.
- g) Dar soporte al diseño de nuevos productos en la aprobación e implementación de lanzamientos de nuevos productos y actualización de formulaciones para los productos ya existentes en planta.
- h) Aprobar los nuevos proveedores alternos de material de empaque y materia prima que permitan versatilidad del proceso manteniendo el apego a las especificaciones de calidad preestablecidas, conjuntamente con la Gerencia General.

- i) Realizar la evaluación y disposición de los materiales, semiproductos y productos en proceso y terminados no conformes:
- Revisar las devoluciones de los productos y aprobar el reintegro de las mismas a los clientes afectados.
 - Verificar los productos y semiproductos no conformes para comprobar sus condiciones y emitir las disposiciones para su uso final más apropiadas.
 - Atender las observaciones y reclamos de los consumidores mediante una apropiada gestión de atención al cliente.

3.3. DEPARTAMENTO DE RECEPCIÓN DE LECHE.

El Departamento de *Recepción de Leche* tiene como objetivo garantizar la cantidad y calidad físico-química de la leche cruda desde la selección, recepción y almacenamiento, para así satisfacer los requerimientos de las distintas áreas de Producción tales como Pasteurización de Leche, Derivados Lácteos y Yogurt Firme.

Este departamento cuenta con un equipo de trabajo integrado por el Jefe del Departamento, Supervisores, Técnicos de Campo y Ayudantes Generales.

A la llegada de cada camión cisterna a la planta, el conductor de dicha unidad entrega un recibo de los litros de leche cruda que trae y se procede a tomar una muestra de cada compartimiento del camión para su respectivo análisis en el laboratorio.

Para la toma de muestra, la leche contenida en los camiones se agita por un lapso de tiempo comprendido entre 5 y 10 minutos, usando un agitador de acero inoxidable; la leche debe ser bien agitada para obtener una mezcla homogénea y representativa. Luego se toma la muestra (en envases de 270 ml) de cada uno de los compartimientos del camión con un volumen no menor de las tres cuartas partes del envase (203 ml) y se mide su temperatura.

Las muestras son llevadas al laboratorio de *Recepción de Leche* para realizarles sus análisis respectivos de olor, color, sabor, grasa, punto de crioscopia, cloruros, acidez, densidad, adulteraciones, estabilidad de la proteína, rezarsurina, prueba de antibiótico, proteína y prueba presuntiva de mastitis. Con estas pruebas de análisis se busca determinar la calidad físico-química de la leche cruda para decidir si es o no aceptable. Este es el punto básico del cual depende el éxito de la operación de toda la planta, pues no se pueden producir buenos productos con materia prima de mala calidad.

Los parámetros de calidad exigidos por la empresa son los establecidos por las normas COVENIN. Si las muestras analizadas cumplen con los parámetros exigidos, se toma la decisión de aceptar la leche, en caso contrario, ésta es rechazada.

Cuando la leche es rechazada, ésta puede ser vendida a clientes externos, como las queseras.

Si la leche es aceptada, se da inicio al descargue de la misma de los camiones y es enviada a los silos de almacenamiento de *Recepción de Leche*, pasando previamente a través de una serie de filtros para remover las impurezas sólidas que pueda traer la leche, como polvo, pasto, insectos, pelo, tierra, etc., y de un intercambiador de calor de placas para enfriarla. La temperatura promedio de la leche cruda que llega a la empresa es de 9 °C y sale del enfriador de placas a 4-6 °C, este equipo utiliza como fluido de enfriamiento agua fría (1-2 °C). Una vez descargada la leche en los tanques de almacenamiento, se hace la medición y se compara los resultados con la cantidad de leche que señalen los recibos. Finalmente se informa al chofer para que traslade el camión al área de lavado de camiones.

El área de recepción cuenta con seis silos y dos tinas de almacenamiento donde se mantiene la leche hasta que sea despachada a las distintas áreas de producción. La capacidad de cada silo y tina es la siguiente:

- × *Silos N° 1 y 2*: 70.000 litros.
- × *Silos N° 5 y 6*: 11.500 litros.
- × *Silo N° 7*: 15.000 litros.
- × *Silo N° 8*: 19500 litros.
- × *Tina N° 1*: 1600 litros.
- × *Tina N° 3*: 1500 litros.

Los silos N° 1, N° 2 y N° 7, son los únicos que cuentan con una chaqueta de refrigerante (amoníaco), los demás sólo cumplen con la función de almacenar la leche.

En los silos N° 1 y N° 2, se almacena la leche destinada para el área de *Pasteurización de Leche*, los otros silos son para almacenar la leche que será utilizada por las otras áreas.

Como algunos productos elaborados por la empresa requieren de leche descremada, el área de *Recepción de Leche* se encarga de termizar a 60 °C y luego descremar una parte de la leche fresca recibida, ésta leche descremada es almacenada generalmente en las tinas.

Tabla 3.1. Criterios de aceptación o rechazo de la leche cruda.

VARIABLE	QUE VA A CONTROLAR	COMO VA A CONTROLAR	CUANDO VA A CONTROLAR	QUIEN VA A CONTROLAR	CRITERIOS	ACCIÓN CORRECTIVA
Grasa	El % de grasa	Análisis de grasa Norma COVENIN N° 503-82	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	Mínimo 3,2	Si no cumple hacer seguimiento a la ruta por productor
Punto de crioscopia	El punto de congelación	Análisis de crioscopia Norma COVENIN N° 940-82	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	0,550 - 0,535	Si no cumple hacer seguimiento a la ruta por productor
Cloruros	El % de cloruros	Análisis de cloruros Norma COVENIN N° 369-82	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	0,08 - 0,110	Si no cumple hacer seguimiento a la ruta por productor
Acidez	ml de NaOH al 0,1 N (gastados)	Análisis por titulación Norma COVENIN N° 658-86	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	15 - 16,5 ml para 100 ml de leche	Rechazar a terceros si es igual o mayor a 16.5, seguimiento a la ruta por productor, si esta entre 16.6 y 20 rechazar a terceros y si es mayor a 20 destruir
Densidad	Densidad a 15 °C	Análisis con lactodensímetro Norma COVENIN N° 367-82	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	1,029 - 1,033	Si no cumple hacer seguimiento a la ruta por productor
Adulteraciones	Presencia de adulteraciones	Análisis de Adulteraciones	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	Negativo	Si no cumple hacer seguimiento a la ruta por productor
Estabilidad de la proteína (prueba de alcohol)	La estabilidad proteica	Mediante la prueba de alcohol y prueba de ebullición Norma COVENIN N° 903-93	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	Negativo	Rechazar a terceros si hay precipitación en alcohol al 72% v/v
Rezarsurina	La calidad bacteriológica de la leche	Mediante la prueba de rezarsurina	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	3 - 5	Si es 2 verificar alcohol, acidez y ebullición, si no cumple o es menor a 2 rechazar a terceros y hacer seguimiento a la ruta
Prueba de antibiótico	Restos de antibiótico	Prueba de determinación de antibiótico	A cada recepción	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	Negativo	Si no cumple hacer acta de destrucción y hacer seguimiento a la ruta por productor
Proteína	El % de proteína	Análisis por titulación formol de warker (FW)	En cada recepción 2 veces por semana para cada ruta	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	FW: mínimo 1,5 ml	Seguimiento a la ruta por productor
Prueba presuntiva de mastitis	Presencia de Mastitis	Análisis cualitativo Norma COVENIN N° 1014-76	Cuando hay sospecha	Supervisor de Recepción, Analista de Recepción	Negativo	Seguimiento a la ruta o productor sospechoso

Fuente: Empresa Nacional Lácteos Los Andes, 2008.

Diagrama de flujo del proceso de Recepción de Leche:

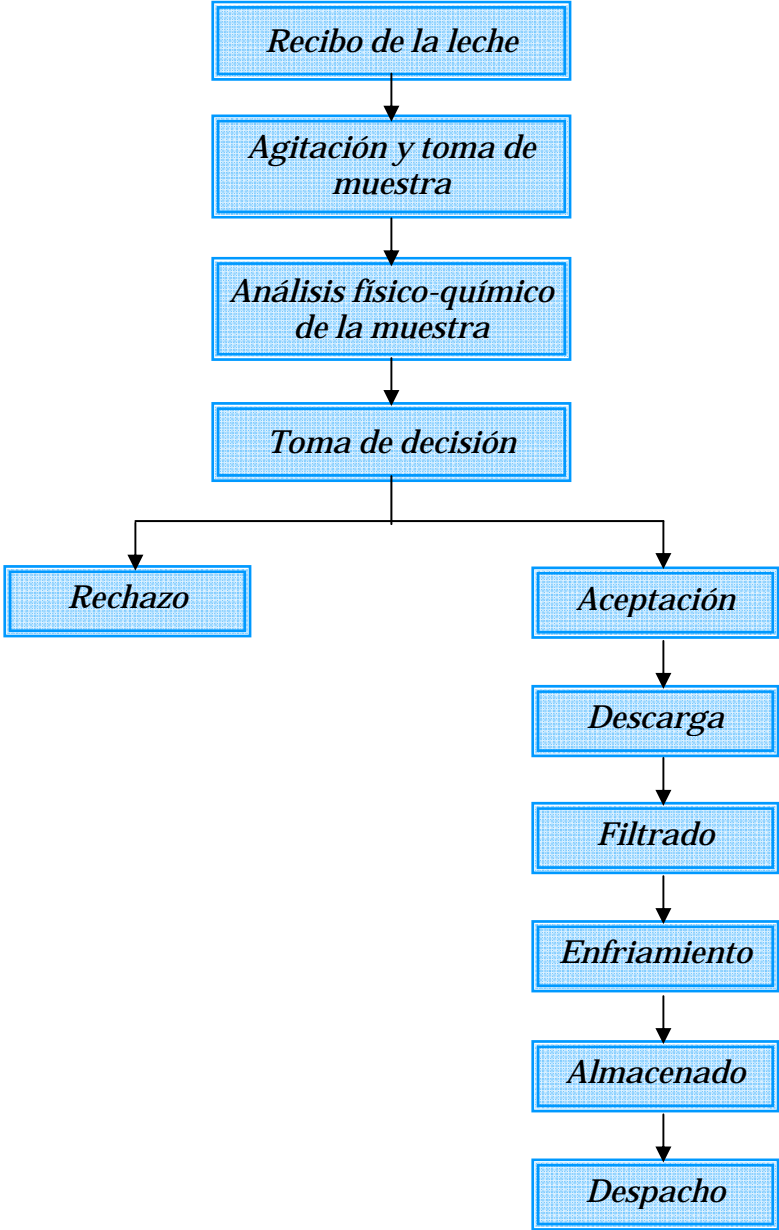


Fig. 3.1. Diagrama de flujo del proceso de Recepción de Leche.

3.4. DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN.

La estructura organizacional del *Departamento de Producción* de la Empresa Nacional Lácteos Los Andes, está conformada por la Gerencia de Operaciones, Gerencia de Planta y Jefatura de Producción; el cual contempla el área de Yogurt Firme, Derivados Lácteos, Jugos y Néctares, Pasteurización de Leche y Envasado.

Este departamento está vinculado directamente con todo el proceso productivo, coordina el programa de producción, solicita toda la materia prima necesaria en los almacenes, supervisa las diferentes etapas del proceso (preparación, pasteurización, envasado), y asegura que el producto terminado posea todas las características que cumplan con los estándares vigentes de calidad, asentados en una operatividad sanitaria e higiénica de las instalaciones, equipos y personas de la planta, al menor costo posible y al mayor grado de eficiencia.

Actividades o funciones del departamento de Producción:

Elaborar los diferentes productos que representa la empresa, lo cual incluye:

- a) Preparación del producto.
- b) Estandarización del producto.
- c) Pasteurización del producto.
- d) Almacenamiento del producto.
- e) Envasado del producto.

3.5. ÁREA DE JUGOS Y NÉCTARES.

El área de Jugos y Néctares se encarga de elaborar néctar de durazno, néctar de manzana, néctar de pera, naranjada 60% y naranjada 100%. El área cuenta con:

- * Un tanque de preparación de 2.000 litros (Tanque N° 1).
- * Dos tanques de estandarización con capacidad de 5.000 litros cada uno (Tanques N° 2 y N° 3).
- * Dos tanques de almacenamiento con capacidad de 10.000 litros cada uno (Tanques N° 4 y N° 5).
- * Intercambiador de placas (13.500 litros/hora).
- * Tubería de retención.

El proceso de elaboración de sus productos es el siguiente:

En el tanque de preparación se agregan y se mezclan el agua, el azúcar, el ácido cítrico y los espesantes. Luego, por medio de una bomba de diafragma, se realiza el trasegado de la pulpa o concentrado desde el tambor de pulpa hasta el tanque de preparación, para ser mezclada con los demás ingredientes. La mezcla se

agita por un tiempo de 5 a 10 minutos, después es enviada a los tanques de estandarización donde se enrasa con agua mientras se mantiene en agitación constante. De los tanques de estandarización se toma una muestra de la mezcla para llevarla al laboratorio de Aseguramiento de la Calidad y efectuar sus respectivos análisis de °Brix, viscosidad y acidez; en caso de ser necesario realizar algunos ajustes del semiproducto, estos se hacen en los tanques de estandarización.



Fig. 3.2. *Tanques de preparación de Jugos y Néctares.*

Posteriormente la mezcla es bombeada al pasteurizador de placas, donde se calienta hasta los 88 °C por medio de agua caliente (a 90 °C), pasa al tubo de retención por un tiempo aproximado de 15 segundos y regresa al intercambiador para ser enfriada a 4 °C, utilizándose para ello agua fría (1-2 °C) proveniente de los bancos de hielo.

Una vez enfriado el producto, este puede ser enviado directamente a las máquinas de envasado o almacenarse en los tanques 4 ó 5 hasta el momento del envasado.



Fig. 3.3. Intercambiador de calor de placas de Jugos y Néctares.

La presentación de los néctares es envases de cartón de $\frac{1}{4}$ litro, $\frac{1}{2}$ litro, 1 litro y 2 litros; la naranjada se presenta en envases de cartón o plástico de 1 litro, 2 litros y $\frac{1}{2}$ litro.



Fig. 3.4. Jugos y néctares Los Andes.

Proceso de elaboración de Jugos y Néctares:

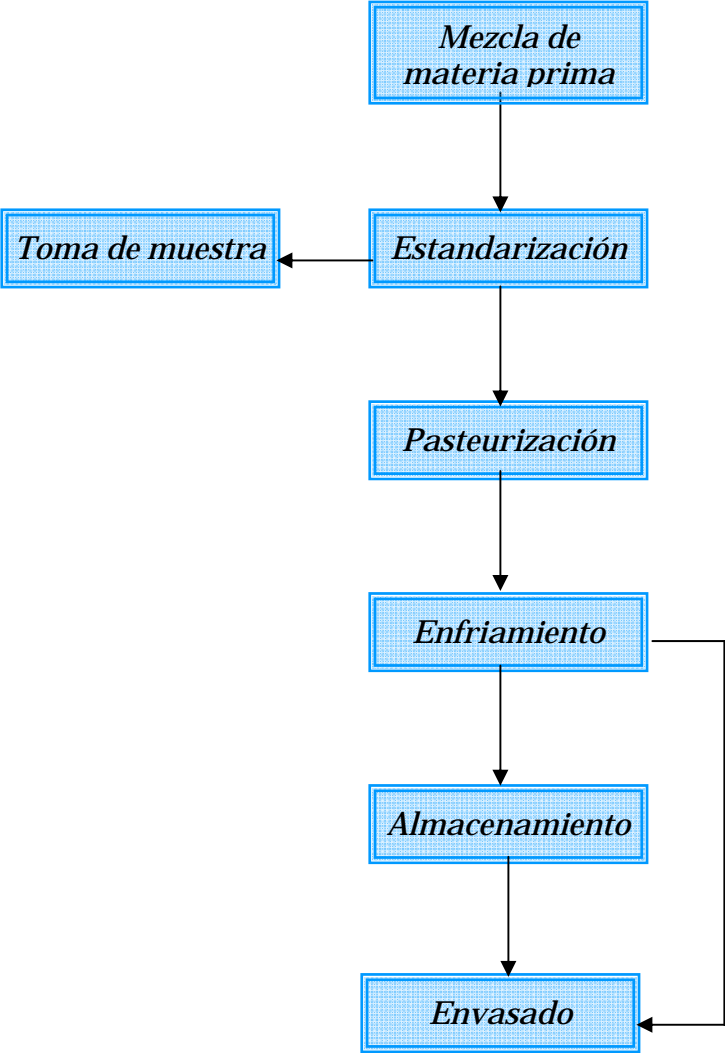


Fig. 3.5. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Jugos y Néctares.

3.6. ÁREA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE.

En el *Área de Pasteurización de Leche*, la leche es sometida a los tratamientos tecnológicos necesarios para lograr aumentar su capacidad de conservación y para que llegue al consumidor con las mejores propiedades nutricionales, higiénicas y organolépticas; el producto obtenido es Leche Pasteurizada y Homogeneizada.

La leche es tomada de los silos N° 1 y N° 2 de *Recepción de leche*. La leche cruda se hace pasar por un filtro, luego es enviada al intercambiador de placas que tiene una capacidad de 10.500 litros/hora y cuatro secciones de intercambio de calor.

La leche filtrada entra en la primera sección de precalentamiento (regeneración) del pasteurizador donde alcanza una temperatura de 45-50 °C gracias al calor sensible cedido por una leche inicial que ya ha sido previamente pasteurizada y que viene en contracorriente. La leche precalentada es enviada a la descremadora.



Fig. 3.6. Descremadora.

En la descremadora se efectúa la separación de la grasa de la leche por centrifugación para obtener nata y leche magra. La nata y leche magra salen de la descremadora por dos salidas independientes, y se procede a la estandarización de la leche, utilizando para ello un compomaster, equipo en el cual se indica el porcentaje de grasa con que se desea obtener el producto final: 4,1% de grasa para leche entera, 2,5% de grasa para leche semidescremada y 0,9% de grasa para la leche descremada; luego una parte de la nata es enviada a través de una tubería de retorno y se mezcla de nuevo con la leche según el porcentaje indicado en el compomaster, la nata restante se hace pasar por un enfriador tubular de donde sale a 22-25 °C para ser depositada en un tanque.



Fig. 3.7. Intercambiador de doble tubo para el enfriamiento de la crema.

La leche estandarizada retorna al pasteurizador en la segunda sección de regeneración para continuar precalentándose hasta la temperatura de homogenización (60-65 °C) con ayuda de la leche ya pasteurizada. La leche a 60-65 °C es enviada al homogenizador, donde es sometida a una presión de 1900 psi con el fin de romper los glóbulos de grasa para garantizar su distribución homogénea en la leche y evitar que se acumulen en la parte superior de los envases; de aquí es trasladada nuevamente al pasteurizador y entra en la sección de calentamiento.

En la sección de calentamiento, la leche se calienta hasta la temperatura de pasteurización (87-88 °C) mediante agua caliente (a 90°C) que circula en sentido contrario. De aquí pasa la leche al tubo de retención ($\text{Ø}=2\frac{1}{2}$ "), en donde permanece en circulación por un lapso de 15 segundos para asegurar la eliminación de todas las bacterias patógenas.

En la parte externa del sistema de retención se sitúa la válvula de desviación de flujo, su funcionamiento está determinado por la temperatura de la leche que deja la sección de retención. Si esta temperatura se halla por debajo de 87-88 °C, la válvula desvía el flujo de la leche al tanque de balance para que vuelva a ser pasteurizada, en caso contrario, la leche fluye hacia la sección de regeneración.

La leche, una vez pasteurizada, entra a la sección de regeneración para cumplir su función de medio calefactor para la leche cruda que viene entrando al equipo, logrando así un descenso de su temperatura. Esta leche preenfriada pasa finalmente a la sección de enfriamiento donde es enfriada a 4 °C por el agua fría que fluye en contracorriente a 1-2 °C.



Fig. 3.8. Intercambiador de calor de placas del área de Pasteurización de Leche.

Luego, la leche enfriada se trasega a los tanques de almacenamiento donde se mantiene a 4 °C hasta el momento de su envasado, una vez que se encuentra almacenada en estos tanques, se toma una muestra para determinar su calidad físico-química y sensorial.

En el área se cuenta con dos tanques de almacenamiento de leche pasteurizada, el tanque N° 3 con capacidad de 30.000 litros y el tanque N° 4 de 70.000 litros. La leche pasteurizada y homogeneizada es presentada al consumidor en envases de cartón de 1 litro, 2 litros y ½ litro, y en envases de plástico de 2 litros.



Fig. 3.9. Presentaciones de la leche pasteurizada y homogeneizada.

Proceso de elaboración de Leche Pasteurizada y Homogeneizada:

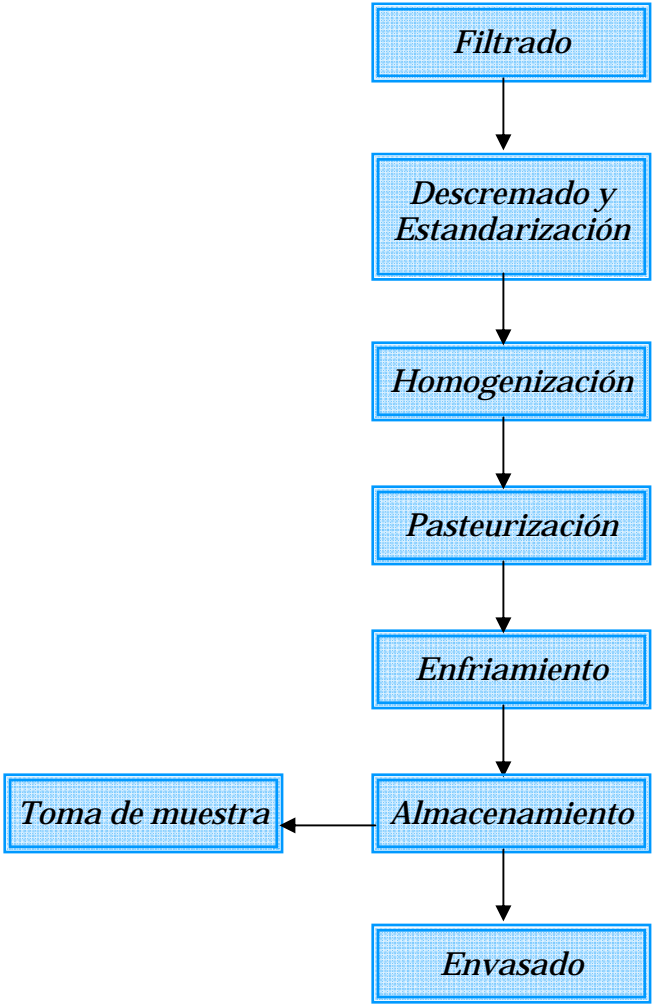


Fig. 3.10. Diagrama de flujo del Proceso de elaboración de Leche Pasteurizada y Homogeneizada.

3.7. ÁREA DE DERIVADOS LÁCTEOS.

En el área de *Derivados Lácteos* se elaboran los siguientes productos:

- Yogurt Líquido de Piña, Durazno, Fresa y Ciruela.
- Yogurt Líquido Light.
- Bio de Durazno, Fresa, Naranja y Limón.
- Bio Light de Durazno y Fresa.
- Yogurtín de Durazno y Fresa.
- Savory.

Los equipos empleados en el área para fabricar estos productos son:

- Mezclador Triblander con capacidad de 1.000 litros.
- Intercambiador de calor de placas (6.850 litros/hora).
- Homogenizador.
- Tanque de preparación N° 14 de 6.000 litros de capacidad.
- Tanques para incubación y enfriamiento: dos tanques (N° 2 y N° 3) de 4.000 litros y seis tanques (N° 4, N° 5, N° 6, N° 11, N° 12 y N° 17) de 6.000 litros.
- Tanques para jarabe: el tanque N° 8 con una capacidad de 800 litros y el N° 10 de 1.600 litros.

Proceso de elaboración de Yogurt, Bio y Yogurtín:

El Yogurt Líquido, Bio y Yogurtín, tienen un proceso de elaboración similar, para su preparación se toma la leche de los silos o tinas del área de *Recepción de leche*, ésta leche puede ser entera o descremada si se va a preparar un producto light.

La leche es bombeada hasta el triblander de *Derivados Lácteos* donde es mezclada con los demás ingredientes: azúcar, estabilizantes y/o colorantes y aromas; la mezcla se agita para lograr distribuir todos sus componentes de manera uniforme. Luego se trasega la mezcla base al tanque de preparación y se enrasa con leche hasta el volumen deseado a preparar, manteniendo agitación constante, en esta etapa se procede a tomar una muestra para determinar °Brix y viscosidad.

Seguidamente, la mezcla es enviada a la olla de balance y de ella pasa al intercambiador de placas para su precalentamiento a 65-70 °C, a esta temperatura pasa al homogenizador, el cual trabaja a una presión de 3.000 psi.

Después de la homogenización la mezcla retorna al intercambiador y se calienta hasta la temperatura de pasteurización que es de 86-88 °C. El equipo de

intercambio de calor utiliza como fluido calefactor en las dos etapas (precalentamiento y calentamiento), agua caliente que entra al equipo a 89-90 °C y circula en contracorriente. Si la mezcla no alcanza la temperatura de pasteurización, se envía de nuevo a la olla de balance por medio de la válvula diversora, para garantizar así el tratamiento correcto de la mezcla.

Al finalizar el calentamiento se lleva la mezcla a los tanques de retención, donde se mantiene en reposo de 5 a 10 minutos. Se toma nuevamente una muestra para analizarla en el laboratorio del Departamento de Aseguramiento de la Calidad. Posteriormente la mezcla es enfriada en estos mismos tanques, ya que son de doble pared, hasta la temperatura de incubación.



Fig. 3.11. *Tanques de incubación y enfriamiento.*

Si la mezcla preparada es para elaborar Yogurtín, se agrega el resto de los ingredientes (colorantes, aroma y pulpa de fruta pasteurizada) antes de enfriar.

El enfriamiento se realiza haciendo circular alternadamente agua de torre y agua helada entre la pared interna y externa de los tanques. El agua de torre es agua que se encuentra a ± 25 °C y el agua helada está entre 1 °C y 2 °C. Primero se enfría la mezcla con agua de torre hasta 70 °C, después con agua helada hasta 50 °C y por último, con agua de torre hasta 43 °C. Durante el enfriamiento la mezcla es agitada constantemente.

Culminado el enfriamiento se inocula la base con cultivos lácticos mixtos, compuestos principalmente por *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, y se agita por 30 minutos, después de

transcurrido este tiempo se apaga el agitador y se deja en reposo por 4 ó 5 horas (tiempo de incubación). Al terminar el tiempo de incubación se toma una muestra para ser llevada al laboratorio y determinar su pH, que debe estar entre 4,55 y 4,65; si cumple con los parámetros se libera la mezcla, sino se deja en reposo por más tiempo, hasta que alcance el valor de pH deseado.

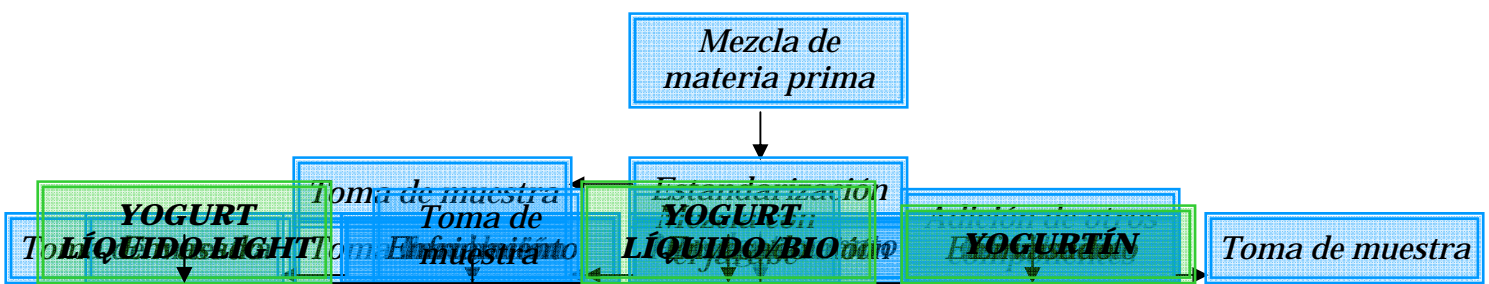
Una vez liberado el producto, se enfría rápidamente con agua helada hasta 25 °C para detener la actividad de los microorganismos y evitar que continúe acidificándose. Durante el enfriamiento se agita el yogurt para romper el coágulo formado en la etapa anterior y uniformizar la textura del producto.

Cuando alcanza los 25 °C se mezcla el yogurt con el jarabe de fruta y se agita hasta lograr una mezcla homogénea. Luego se toma una muestra y se lleva al laboratorio para realizar los análisis respectivos de viscosidad, °Brix y pH de la mezcla.

El producto obtenido es *Yogurt Líquido* o *Bio*, estos se diferencian en los cultivos empleados para su fermentación, dado que el cultivo adicionado al *Bio* contiene además de las bacterias típicas (*L. bulgaricus* y *S. thermophilus*), otras bacterias que son *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium bifidum*. Estos dos productos son enviados finalmente al *Área de Envasado*.

Si la base fue preparada con el fin de obtener *Yogurt Líquido Light* o *Yogurtín*, se procede al envasado después del enfriamiento, para lo cual se envía el producto hasta el *Área de Envasado*. La razón por la cual son enviados directamente al *Área de Envasado*, es que al *Yogurt Líquido Light* no se le adicionan colorantes, ni aromatizantes, ni frutas y al *Yogurtín* ya le fueron agregados estos componentes antes del primer enfriamiento.

Diagrama de flujo de la elaboración de productos de Derivados Lácteos:



Proceso de elaboración del jarabe de fruta:

El proceso de elaboración del jarabe de fruta comienza con la mezcla en el triblender, del agua, azúcar y

Fig. 3.12. Diagrama de flujo de la elaboración de productos de Derivados Lácteos.

estabilizantes, después la mezcla se trasega al tanque de pasteurización (tanque N° 8 ó tanque N° 10) donde se le agrega la pulpa de fruta dependiendo de el sabor a preparar. La mezcla se calienta hasta 90 °C, luego se mantiene en reposo por 30 minutos y se toma una muestra para determinar °Brix y viscosidad. Seguidamente se enfría la mezcla con agua de torre hasta los 60 °C para adicionarle color y aroma, se deja en reposo por 10 minutos y se termina de enfriar con agua helada hasta el momento de la mezcla con el yogurt base.

Diagrama de la elaboración del jarabe de fruta:

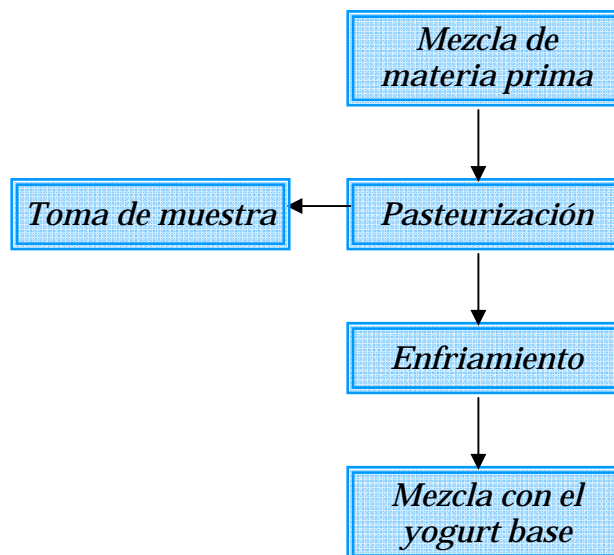


Fig. 3.13. Diagrama de flujo de la elaboración del jarabe de fruta.

Proceso de elaboración de Savory:

La elaboración de *Savory* se inicia en el *Área de Derivados Lácteos* y culmina en *Pasteurización de Leche*. La mezcla de sus componentes se hace en *Derivados Lácteos*, para ello se agrega al triblender agua, leche entera, azúcar, sal y otros aditivos, los cuales se agitan para que la mezcla sea homogénea. Ésta mezcla es enviada al *Área de Pasteurización de Leche* donde se termina de agregar la leche hasta la cantidad requerida y posteriormente se procede a su homogenización y pasteurización siguiendo el mismo proceso empleado para obtener la Leche Pasteurizada.

Diagrama de flujo de la elaboración de Savory:

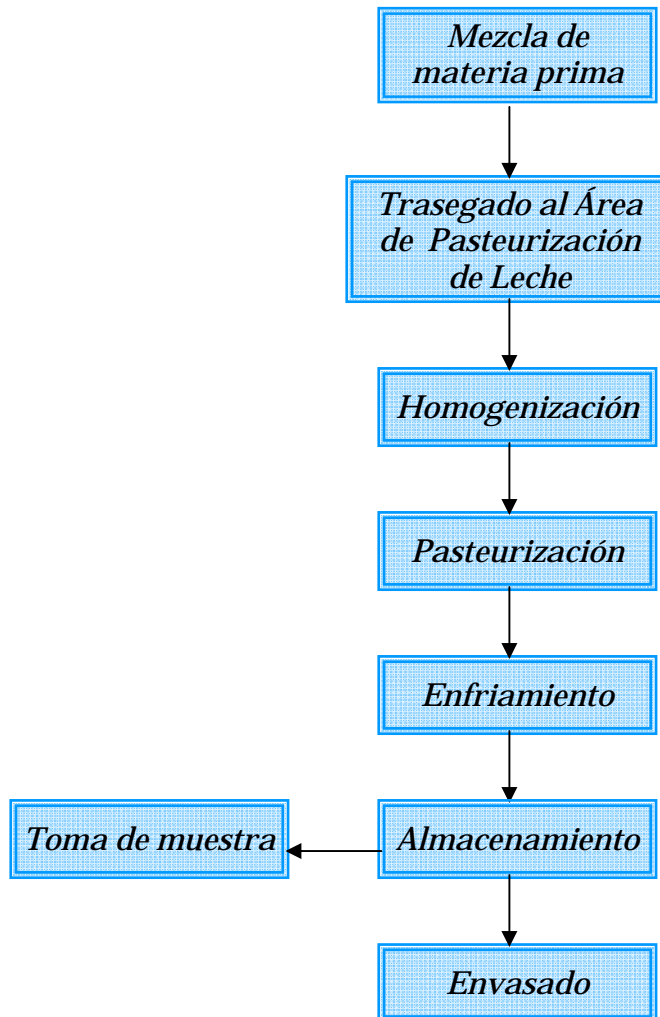


Fig. 3.14. Diagrama de flujo de la elaboración de Savory.

La presentación del *Yogurt Líquido* y *Savory* es envases de cartón Tetra Rex. El *Yogurt Líquido* es comercializado en envases de 1 litro, $\frac{1}{2}$ litro y $\frac{1}{4}$ litro; y el *Savory* en envases de 1 litro.

El *Bio* y el *Yogurtín* son envasados en envases de plástico, estos envases son fabricados por la misma empresa a través de un proceso de extrusión por soplado. Las presentaciones del *Bio* son de 1 litro y $\frac{1}{3}$ litro. El *Yogurtín* tiene una sola presentación que es de $\frac{1}{4}$ de litro.



Fig. 3.15. *Yogurt Líquido* y *Savory*.



Fig. 3.16. Presentaciones del Bio.



Fig. 3.17. Yogurtín.

3.8. ÁREA DE ENVASADO.

Los productos elaborados en las demás áreas de *Producción*, a excepción de los de *Yogurt Firme*, son enviados a ésta área para su envasado.

En el área se dispone de diez máquinas de envasado, ocho son del tipo Cherry-Burrel y las otras dos son rotativas, las capacidades de cada una de ellas se detallan a continuación:

- ✓ Cherry - Burrel N° 1: 110 envases/minuto de ½ litro
84 envases/minuto de 1 litro
- ✓ Cherry - Burrel N° 2: 130 envases/minuto de 1 litro
150 envases/minuto de ½ litro
- ✓ Cherry - Burrel N° 3: 130 envases/minuto de 1 litro
150 envases/minuto de ½ litro
- ✓ Cherry - Burrel N° 4: 110 envases/minuto de ½ litro
110 envases/minuto de ¼ litro
- ✓ Cherry - Burrel N° 5 (Spout pak): 102 envases/minuto de 1 litro
- ✓ Cherry - Burrel N° 6 (Spout pak): 102 envases/minuto de 1 litro
- ✓ Cherry - Burrel N° 7 (Spout pak): 78 envases/minuto de 1 litro
- ✓ Cherry - Burrel N° 8: 110 envases/minuto de ½ litro
- ✓ Rotativa N° 1: 160 envases/minuto de ½ litro
- ✓ Rotativa N° 2: 120 envases/minuto de ⅓ litro
120 envases/minuto de ¼ litro
90 envases/minuto de 1 litro

El proceso de envasado en las máquinas llenadoras Cherry-Burrel es el siguiente:

- Se coloca una pila de envases de cartón plegados en el dispensador de envases (magazín).
- Los envases son tomados del magazín y automáticamente se abren y se hacen pasar por el horno de fondo para sellar el fondo de los mismos.
- Se transportan los envases por la cadena sanitaria hasta las válvulas de llenado, donde el producto va siendo depositado en los envases según la cantidad que se establece en el baleador de medida.

- Luego los envases pasan por el doblador de boca y el sistema de sellado de boca.
- El producto envasado sigue su recorrido por una cadena transportadora hasta el codificador (dominó) que se encarga de marcar: fecha de vencimiento, precio del producto, hora de envasado y número de máquina.
- El operador coloca el producto en cestas y lo envía por medio de una cadena transportadora al departamento de *Almacén y Despacho de Producto Terminado Refrigerado*, donde se mantiene en refrigeración hasta su comercialización.



Fig. 3.18. *Envasadora Cherry-Burrell.*

Las envasadoras que cuentan con el sistema colocador de tapas (Nº 5, 6 y 7), tienen el mismo funcionamiento excepto que antes del llenado se le colocan las tapas al envase.

Las máquinas disponen de un sistema que sanitiza las distintas superficies de la máquina que están en contacto con el interior del cartón. Automáticamente, cada 30 minutos, el proceso de envasado se detiene y el sistema rocía el líquido sanitizante (peróxido de hidrógeno).

En las envasadoras rotativas, los envases de plástico son colocados en un silo de envases de donde son descargados a la cadena de alimentación, esta cadena transporta los envases hasta un tornillo sin fin que los va organizando para que entren en la estrella, de aquí se van colocando en unos platos o soportes que ajustan el

envase a las válvulas de llenado. Los envases ya llenos, son enviados a otra estrella para colocarles las tapas, después pasan por la etiquetadora y el túnel de vapor, en el cual se adhiere la etiqueta al envase por un sistema termoencogible. El producto envasado sigue por una correa transportadora hasta el codificador, luego se realiza el encestado del producto y se envía al departamento de *Almacén y Despacho de Producto Terminado Refrigerado*.



Fig. 3.19. *Envasadora rotativa.*

La rotativa N° 1 tiene 28 válvulas de llenado y la rotativa N° 2 tiene 21 válvulas de llenado.

Durante el proceso de envasado se toman muestras del producto envasado para su análisis y verificar el volumen de producto en el envase.

3.9. ÁREA DE YOGURT FIRME.

El *Área de Yogurt Firme* se encarga de elaborar los siguientes productos:

- × *Yogurt Firme en sus cuatro sabores, Durazno, Piña, Fresa y Ciruela.*
- × *Yogurt Batido de Durazno y de Fresa.*
- × *Yogurt Firme Natural.*
- × *Yogurt Firme Descremado.*
- × *Arroz con Leche.*

Proceso de elaboración del yogurt:

La preparación de la mezcla base es igual para cada tipo de yogurt, en primer lugar, se realiza el pedido de la cantidad de leche necesaria para preparar la base, en el *Área de Recepción de Leche*.

La leche es tomada de los silos de almacenamiento y bombeada hasta el triblender de *Yogurt Firme*, esta leche puede ser entera si va a elaborarse *Yogurt Firme* o *Yogurt Natural*, o descremada si es para *Yogurt Batido* o *Yogurt Descremado*.

En el triblender se mezcla la leche junto con el azúcar o edulcorantes, si la base es para *Yogurt Batido* o *Yogurt Descremado*, y los estabilizantes; estos últimos ayudan a mejorar y mantener las características del yogurt en cuanto a textura y viscosidad.

La mezcla es enviada al tanque de estandarización donde se termina de agregar el resto de la leche hasta la cantidad deseada a preparar, también se adicionan las vitaminas A y D. Se enciende el agitador y se precalienta la mezcla a 25-30 °C, esto con el fin de que los ingredientes queden bien disueltos y se obtenga una mezcla homogénea. Para el precalentamiento se utiliza vapor que circula entre la pared interna y externa del tanque, ya que es un tanque de doble pared. En esta etapa se toma una muestra de la mezcla base para realizar sus análisis respectivos y determinar si se encuentra bajo los parámetros requeridos.

Del tanque de estandarización la mezcla es enviada a una olla de balance, luego pasa al intercambiador de calor de placas de *Derivados Lácteos*, allí entra primero en la sección de precalentamiento y alcanza una temperatura de 60-65 °C gracias al calor cedido por el agua caliente (agua a 89-90 °C) que circula en contracorriente.

La base pasa al homogenizador donde se somete a una presión de 3.000 psi para lograr la ruptura de los glóbulos de grasa, de esta manera se asegura una distribución uniforme de la grasa en la base y se evita su separación durante el periodo de incubación. La homogenización otorga también mayor viscosidad y brillantez al yogurt.

Después de la homogenización la base regresa al intercambiador de placas, esta vez en la sección de calentamiento, y se calienta hasta 87-88 °C. A la salida de ésta sección, la base pasa por la válvula diversora cuyo funcionamiento depende de la temperatura que tenga la base; si ésta temperatura es menor a la requerida (87-88 °C), la válvula automáticamente cierra la salida de la mezcla base pasteurizada y la desvía

hacia el depósito de alimentación (olla de balance) en donde tiene que repetir todo el proceso.

La base a 87-88 °C es trasegada al tanque de retención de *Yogurt Firme*. Al momento de terminar de caer toda la base en el tanque, se deja en reposo por 10 minutos, con esto se consigue mantener la base del yogurt a la temperatura de pasteurización durante el tiempo necesario para lograr eliminar todos los microorganismos patógenos y otros microorganismos indeseables. Al terminar el reposo se toma una muestra que es llevada al laboratorio para su análisis.

El *Área de Yogurt Firme* cuenta con cuatro tanques de retención, enumerados del 1 al 4 respectivamente, estos tanques son de doble camisa, lo cual permite que en ellos se haga circular agua fría para el enfriamiento de la base y disponen de un sistema de agitación.

Concluido el tiempo de pasteurización se enfría inmediatamente la mezcla base, comenzando el enfriamiento con agua de torre para bajar la temperatura hasta 70 °C, luego con agua helada para enfriar de 70 °C a 50 °C y por último con agua de torre para enfriar desde 50 °C hasta 43 °C que es la temperatura adecuada para la inoculación.

Al alcanzar los 43 °C se detiene el proceso de enfriamiento para inocular la base con los cultivos lácticos que son los encargados de dar las características propias del yogur en cuanto a sabor, textura y olor; y se agita la mezcla durante 5 minutos para distribuir uniformemente el cultivo.

Para el *Yogurt Batido*, la base se inocula en los mismos tanques de enfriamiento; mientras que para los otros tipos de yogurt: *firme*, *natural* y *descremado*, se trasega la base desde los tanques de enfriamiento hasta unos tanques de inoculación donde son adicionados los cultivos.

La sucesión de las etapas que siguen en el proceso de elaboración de *Yogurt Batido* es diferente a la de los demás tipos de yogurt, por lo tanto se describirá por separado el proceso de obtención de cada uno de ellos.

Yogurt Batido:

La siguiente etapa para el *Yogurt Batido* es la incubación, que ocurre en los tanques de enfriamiento. Después de que la base ha sido inoculada y agitada, se deja en reposo por 4-5 horas, tiempo en el cual las bacterias efectúan el proceso de fermentación, obteniéndose ácido láctico y la consiguiente formación del coágulo.

Luego de transcurrido este tiempo de incubación, se toma una muestra para que el departamento de Aseguramiento de la Calidad realice el análisis respectivo de pH, si la base de yogurt tiene el pH requerido entonces se procede al corte de la acidificación autorizando su inmediato enfriamiento.

El enfriamiento se hace por medio de la circulación de agua helada en los tanques hasta que la temperatura descienda a 20-25 °C. Posteriormente se mezcla el jarabe de fruta con la base y se agita el producto para provocar la ruptura del coágulo y homogenizar la mezcla. De ésta mezcla se toma una muestra para su análisis de pH, °Brix y viscosidad.

A continuación se envía el producto a la máquina de envasado, la cual ya ha sido previamente limpiada y esterilizada. El operador de la máquina coloca los vasos y las tapas de aluminio en los respectivos dispensadores de envases y tapas, ajusta la fecha de vencimiento y el precio del producto en el sistema codificador e inicia el envasado.

El dispensador de envases separa los envases y los deja caer en unos soportes, los envases son llenados con el producto y se cierran por termosellado con las tapas de aluminio. Los envases una vez llenos y cerrados, son transferidos automáticamente a una cadena transportadora, luego los envases son tomados y colocados en bandejas con capacidad para 24 unidades.

Las bandejas con los yogures se trasladan a la cava de conservación, allí permanecen a 4 °C por unas 12 horas como mínimo, para luego tomar una muestra del producto terminado con el fin de determinar si cumple con los parámetros de calidad exigidos por la empresa.



Fig. 3.20. *Cava de refrigeración del Área de Yogurt Firme.*

Finalmente el producto es entregado al departamento de *Almacén y Despacho de Producto Terminado Refrigerado* donde es almacenado hasta el momento de su comercialización.

Yogurt Firme, Yogurt Natural y Yogurt Descremado:

Después que la base ha sido inoculada y agitada en los tanques de inoculación, es trasegada a la máquina de envasado.

Al igual que para el envasado de *Yogurt Batido*, se realiza primero la limpieza y esterilización de la máquina envasadora, se colocan los vasos y las tapas y se ajusta en el codificador la fecha de vencimiento y precio correspondiente al producto, dando así inicio al envasado de *Yogurt Firme, Natural o Descremado*.

La unidad dispensadora de envases acomoda automáticamente los envases en las líneas de llenado, se llena el envase con la base inoculada y se cierra por termosellado. Si es *Yogurt Firme* de frutas, se bombea desde una tina la mermelada hasta la envasadora, en donde es colocada según la cantidad necesaria en el fondo de los envases, antes de agregar la mezcla base del yogurt; el *Yogurt Natural* y el *Descremado*, no llevan frutas y se diferencian porque el primero está hecho con leche entera y el segundo tiene como materia prima leche descremada. Los tres tipos de yogures, son de consistencia semisólida, es decir, son yogures firmes.

Luego de envasado el producto, los envases son puestos en la cinta transportadora y de ahí son tomados para colocarlos en las bandejas, éstas son ubicadas en unas estibas formando 5 columnas con 17 bandejas cada una, a esto se le conoce como paleta. Cada paleta es llevada a la cámara de incubación, la cual tiene una capacidad de aproximadamente 40 paletas.

La incubación de estos tres tipos de yogurt se realiza en los envases para no destruir el gel formado durante el proceso de fermentación. En la cámara de incubación, el producto envasado se mantiene a una temperatura de ± 43 °C por un período de 4 a 5 horas.

Terminado el tiempo de incubación, se toma una muestra para su análisis de pH, que debe ser de 4,4-4,5 para poder continuar con la siguiente etapa.

Una vez que el producto tenga el pH deseado, es sacado de la cava de incubación y se traslada al cuarto de refrigeración para detener el proceso de acidificación, donde permanecerá por 12 horas como mínimo a 4-5 °C. Después de este tiempo se toma nuevamente una muestra del producto para realizar en el laboratorio de *Aseguramiento de la Calidad* los análisis del producto terminado.

Por último, el yogurt es enviado al departamento de *Almacén y Despacho de Producto Terminado Refrigerado*.

Diagrama de flujo de la elaboración de Yogurt Firme y Yogurt Batido:

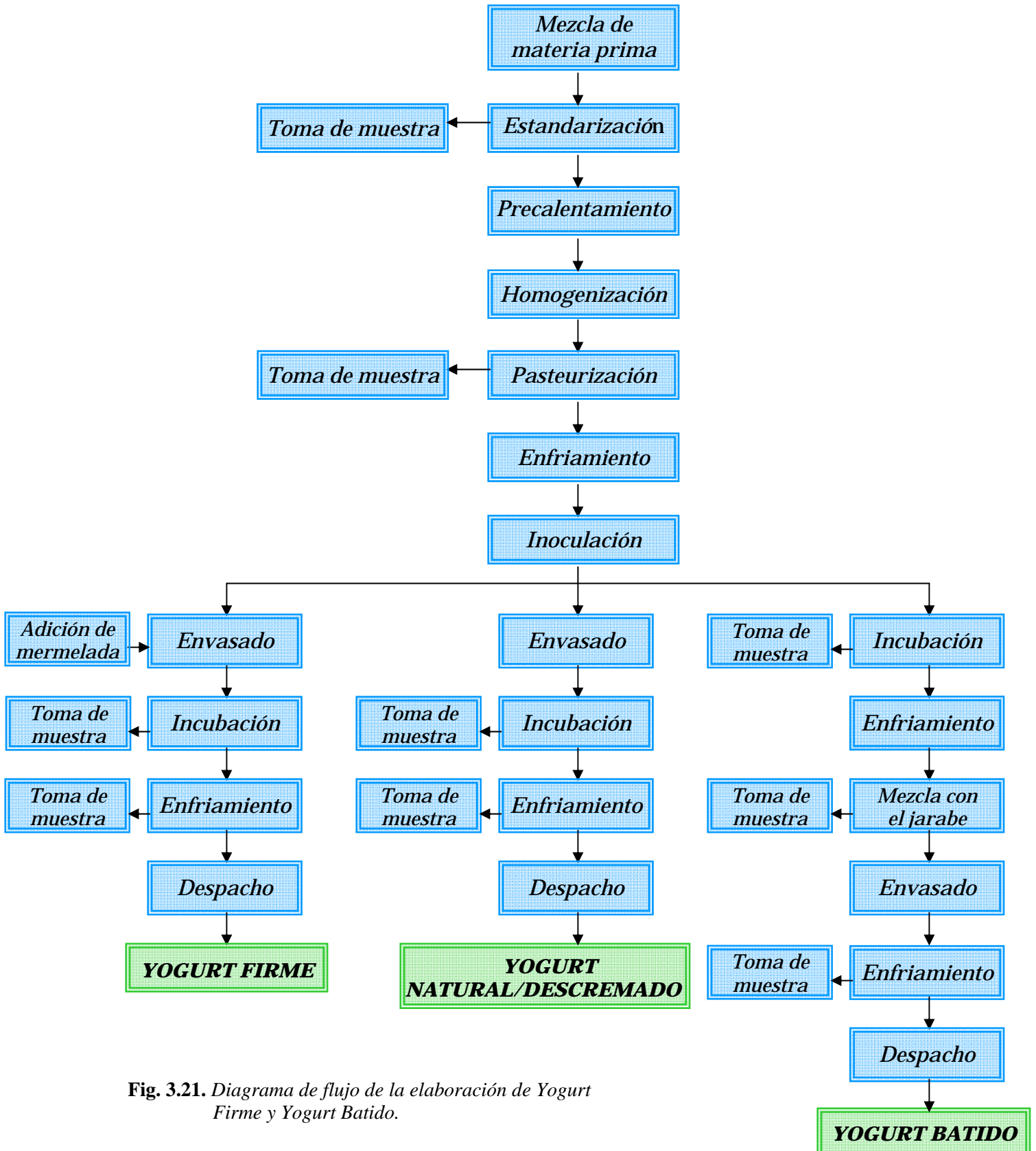


Fig. 3.21. Diagrama de flujo de la elaboración de Yogurt Firme y Yogurt Batido.

Proceso de elaboración de la mermelada para el Yogurt Firme:

La mermelada se prepara en marmitas, el área de *Yogurt Firme* tiene 3 marmitas de doble camisa, con capacidad de 380 litros cada una. En estas marmitas se coloca el azúcar, los estabilizantes, el ácido cítrico, aromas y colorantes, y se enciende el agitador para mezclarlos por 4 ó 5 minutos. Luego, se agrega la pulpa de fruta y/o fruta picada según el sabor a preparar y se enrasa con agua.

La mezcla se calienta con vapor hasta 89-90 °C, al alcanzar esta temperatura se le quita el vapor y se deja en reposo por 20 minutos, durante el tiempo de reposo se toma una muestra que es llevada al laboratorio para los análisis respectivos (determinación de °Brix y viscosidad).

Seguidamente, se enfría la mermelada con agua de torre hasta unos 75 °C y se trasega a una tina, donde terminará de ser enfriada. Las tinas son trasladadas al área de las regaderas para ser enfriadas con agua de torre por ± 20 horas o hasta que alcancen 20-25 °C.



Fig. 3.22. *Enfriamiento de las tinas con la mermelada.*

Después las tinas con la mermelada son llevadas al área de *Yogurt Firme* para conectarlas con la línea de envasado.

Diagrama de flujo de elaboración de la mermelada:

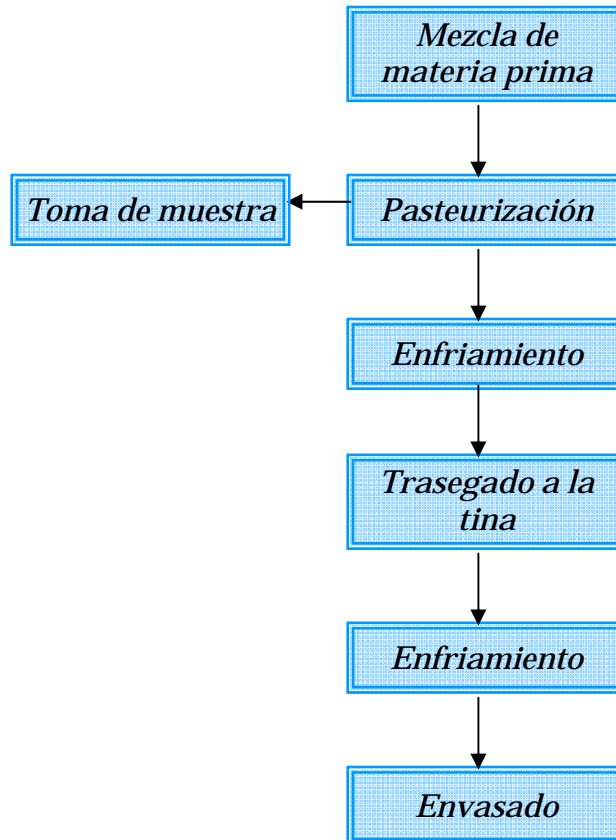


Fig. 3.23. Diagrama de flujo de elaboración de la mermelada.

Proceso de elaboración del jarabe para Yogurt Batido:

El jarabe de frutas también es preparado en las marmitas, en ellas se realiza la mezcla de los edulcorantes, estabilizantes, aromatizantes, colorantes y la fruta picada, después se enrasa con agua y se inicia el calentamiento.

La mezcla se calienta a 90 °C con vapor, luego se le quita el vapor y se mantiene en reposo por 20 minutos.

Se sigue el mismo proceso utilizado para la mermelada: se toma la muestra del producto para su análisis, se enfría con agua de torre y se trasega a las tinas. Las tinas se llevan a las duchas de enfriamiento y permanecen allí hasta que su temperatura sea de 20-25°C, para ser trasladadas al área de *Yogurt Firme*, donde se conecta la tina con

el tanque de retención que contiene la base y se procede a la mezcla del jarabe con la base.

Diagrama de flujo de la elaboración del jarabe para Yogurt Batido:

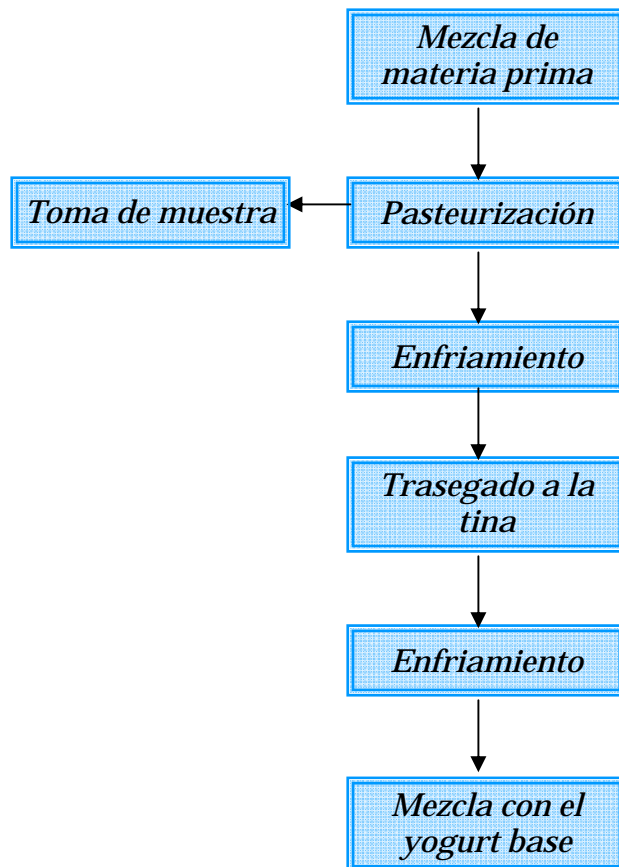


Fig. 3.24. Diagrama de flujo de la elaboración del jarabe para Yogurt Batido.

Proceso de elaboración de Arroz con Leche:

El Arroz con Leche es preparado en las marmitas, se agrega agua potable y se le coloca cáscara de limón, el agua y la cáscara de limón son agitados durante 5 minutos, luego se apaga el agitador y se retira la cáscara de limón.

Después el arroz es agregado para realizar su cocción por medio de vapor que circula entre las paredes interna y externa de las marmitas, hasta alcanzar los 90 °C, durante este calentamiento se alternan dos minutos de agitación con quince minutos de reposo. Al alcanzar los 90 °C, se retira el vapor y se apaga el agitador.

Se añade a las marmitas el resto de los ingredientes (leche, azúcar, canela y espesantes) y se agitan hasta obtener una mezcla homogénea. La mezcla del arroz con los demás ingredientes, se calienta nuevamente hasta 90 °C, luego se retira el vapor y se toma muestra del producto para su análisis de °Brix y pH en el laboratorio.

Finalizado el calentamiento se aplica un reposo de 20 minutos mientras se enfría con agua de torre. Posteriormente el *Arroz con Leche* es enviado directamente a las máquinas de envasado de *Yogurt Firme* donde llega entre 40 y 50 °C, procediéndose a realizar las operaciones necesarias para su envasado.

Diagrama de flujo de la elaboración del Arroz con Leche:

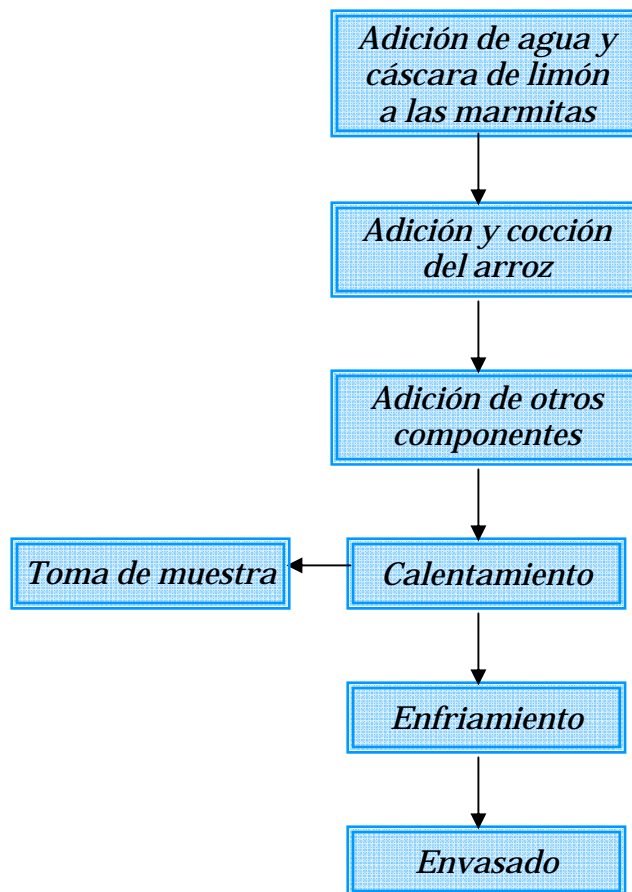


Fig. 3.25. Diagrama de flujo de la elaboración del Arroz con Leche.

Todos los productos del Área de *Yogurt Firme* son presentados en envases de plástico. Los yogures *Firme*, *Natural* y *Descremado*, tienen dos presentaciones: de

130 gramos y de 180 gramos; el *Yogurt Batido* tiene una sola presentación de 150 gramos y el *Arroz con Leche* se presenta en envases de 130 gramos.



Fig. 3.26. Presentaciones del yogurt firme Los Andes.



Fig. 3.27. Yogurt Batido Light



Fig. 3.28. Arroz con Leche.

3.10. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LAS LÍNEAS DE PROCESADO.

La limpieza y desinfección de todo el equipo que se utiliza en el procesamiento o preparación de alimentos, es de fundamental importancia en lo que respecta a mantener condiciones higiénicas y procesar alimentos de primera calidad.

La limpieza y la desinfección son dos procesos distintos y necesarios. La limpieza implica la eliminación de los restos de productos alimenticios de las superficies internas y externas de los equipos de procesado y debe ser acompañada de una desinfección/esterilización posterior, es decir, de la destrucción de la mayor parte de los gérmenes patógenos y de otros microorganismos residuales que pueden dañar la calidad del producto.

La eficacia del proceso de desinfección depende directamente de la eficacia de la limpieza previa. Cualquier resto de suciedad que quede en las superficies dificulta la penetración del desinfectante y la destrucción de los microorganismos, especialmente en el caso de los termorresistentes.

Las operaciones de limpieza y desinfección de tuberías y equipos de procesado deben ser efectuadas antes y después de su utilización.

Los métodos de limpieza empleados en el *Departamento de Producción de Lácteos Los Andes*, son:

- Método fuera de sitio (COP).
- Método *in situ* (CIP).

Método fuera de sitio (COP):

Este procedimiento (COP: «cleaning out of place») consiste en limpiar y sanear manualmente la superficie de los equipos, tales como tanques y máquinas de llenado, así como también partes pequeñas desmontables de un equipo, tales como tramos de tubería. La acción de limpieza se refuerza usando medios mecánicos tales como cepillos, esponjas y agua a presión.

Para la aplicación de éste método en las áreas de *Producción* se procede del siguiente modo:

- a) Se pasa agua fresca (a 20-30 °C) con ayuda de una manguera, por las superficies o partes de los equipos, para eliminar las sustancias ligeramente adheridas a ellas.
- b) Se lavan con jabón líquido usando esponjas, para eliminar completamente los residuos de leche u otros productos que no se desprenden fácilmente por el agua

aplicada inicialmente. La persona encargada de esta labor debe prestar atención y verificar que no queden partículas pegadas.

- c) Se lava con suficiente agua fresca para remover el detergente y dispersar el sucio evitando su redeposición, quedando así, los equipos limpios para el proceso de esterilización que les seguirá. La esterilización se realiza mediante el sistema de CIP.

Método in situ (CIP):

El método *in situ* (CIP: «cleaning in place») ha ganado gran aceptación en la industria alimentaria. El procedimiento utiliza una técnica de recirculación de las soluciones de limpieza y saneamiento y agua de enjuague a través de los circuitos que componen el sistema de procesamiento, empleando simultáneamente efectos físicos y químicos para humedecer, remover, suspender y arrastrar el sucio de las superficies de los equipos.

Este sistema evita el desmantelamiento del equipo y líneas de transporte de fluidos para la limpieza, reduciéndose la mano de obra, costos de operación y desgaste de empacaduras, las cuales pueden ser muy costosas, especialmente en el caso de los pasteurizadores de placa, las cuales toleran un número de aperturas limitado. Además, tiene como ventaja el hecho de que se logra una mejor limpieza y saneamiento, ya que se pueden utilizar soluciones más fuertes y a mayor temperatura que en el caso de limpieza manual, y que permite controlar en forma automática los tiempos de contacto, con menor recontaminación por manipulación, ya que no hay que ensamblar el equipo luego de sanearlo.

Los sistemas de limpieza *in situ* incluyen tanques con calefacción indirecta (generalmente camisa o serpentín con vapor) para la preparación de las soluciones de detergentes y desinfectantes, bomba de recirculación y tuberías para el envío y retorno de los líquidos de limpieza.

El *Área de CIP* de la empresa *Lácteos Los Andes* consta de cuatro circuitos CIP, cada uno con una bomba de recirculación y con el siguiente número de tanques:

- **CIP N° 1:** Tiene tres tanques.
 - Tanque de sanitizante: 325 litros.
 - Tanque de soda cáustica: 1500 litros.
 - Tanque de agua caliente: 1500 litros.

- **CIP N° 2:** Tiene dos tanques.
 - Tanque de agua caliente: 1700 litros.
 - Tanque de soda cáustica: 1700 litros.

- **CIP N° 3:** Cuenta con dos tanques.
 - Tanque de soda cáustica: 1460 litros.
 - Tanque de ácido nítrico: 1460 litros.

- **CIP N° 4:** Incluye cuatro tanques.
 - Tanque de soda cáustica: 1000 litros.
 - Tanque de ácido nítrico: 1000 litros.
 - Tanque de sanitizante: 2000 litros.
 - Tanque de agua caliente: 2000 litros.



Fig. 3.29. Área de CIP.

Las áreas de *Pasteurización de Leche*, *Jugos y Néctares* y *Envasado*, utilizan las líneas de CIP N° 1 y N° 2; *Derivados Lácteos* utiliza el CIP N° 1 y N° 3; y *Yogurt Firme* usa la línea del CIP N° 4.

En la siguiente tabla se muestran las condiciones de aplicación de los agentes de limpieza y saneamiento.

Tabla 3.2. *Condiciones de aplicación de los agentes de limpieza y saneamiento.*

Producto	Concentración	Temperatura (°C)	Tiempo de contacto (min)
Soda cáustica	2-2,5%	80	30
Ácido nítrico	0,8-1%	50	30
Amonio cuaternario	200 ppm	Temp. ambiente	5
Divosan	0,4%	Temp. ambiente	5
Agua caliente	-	90-95	5

Fuente: *Empresa Nacional Lácteos Los Andes, 2008.*

El procedimiento de limpieza in situ (CIP) para las diferentes áreas de *Producción* consiste en lo siguiente:

- a) Se hace pasar por las líneas agua corriente a temperatura ambiente, pero sin recirculación, durante 5 minutos. Esta operación se realiza para eliminar la mayor parte de los residuos de leche, yogurt u otros productos.
- b) Se recircula soda cáustica a 80 °C, a través de tuberías, equipos y tanques, por un lapso de 30 minutos. La soda cáustica es un detergente alcalino cuya función es disolver las proteínas de la leche, saponificar la grasa y actuar como agente hipotensor (humectante), emulsor y suspensor.
- c) Se drena el detergente y se enjuaga con agua fresca por 5 minutos para eliminar los restos de soda cáustica.
- d) Se realiza la prueba de fenoltaleína para comprobar que las líneas estén libres de soda, para ello se toma una muestra del agua de enjuague que va saliendo de las líneas y se le agregan unas gotas de fenoltaleína, si el agua presenta un color fucsia es porque todavía hay soda en las líneas y debe seguir enjuagándose hasta remover completamente la soda, en cambio, si el agua permanece clara es porque ya no hay residuos de soda en las líneas de procesado.
- e) Se recircula ácido nítrico a un nivel de concentración de 0,8 a 1% y temperatura de 50 °C, por un período de 30 minutos. El ácido nítrico es un detergente ácido que actúa removiendo las sales inorgánicas que se hallan presentes normalmente en la “piedra de leche” (formada por fosfatos de calcio insolubles en la soda), además es un excelente neutralizador de los restos de soda.
- f) Se enjuaga con agua fresca durante 5 minutos para eliminar todo el ácido.
- g) Seguidamente se realiza la prueba de bromotimol para determinar la presencia o no de ácido en los equipos y tuberías. La prueba consiste en tomar una muestra del

agua de enjuague, a la que se le adicionan unas gotas de azul de bromotimol, si el agua cambia a un color naranja, aun hay ácido en la línea y debe continuar enjuagándose, si el agua se torna verde es porque ya no existen restos de ácido en las líneas.

- h) Se pasa la solución con el agente saneador o desinfectante, sin recirculación, a temperatura ambiente durante 5 minutos. El sanitizante puede ser amonio cuaternario o divosan, un día se aplica el amonio y otro día el divosan. El amonio cuaternario tiene un alto poder bactericida y el divosan es un desinfectante a base de ácido peracético, altamente efectivo contra todo tipo de microorganismos, incluyendo bacterias, levaduras, hongos, esporas y virus.
- i) Finalmente se deja circular agua caliente (90-95 °C) durante unos 5 minutos para esterilizar. El agua caliente inactiva todas las formas vegetativas, exceptuando los esporos y los fagos.

La velocidad de los agentes de limpieza en las líneas es de 1,5 m/s.

CAPÍTULO IV
PROCESO DE ELABORACIÓN DE
YOGURT.

CAPÍTULO IV

PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGURT.

4.1. PROCESO GENERAL DE ELABORACIÓN DE YOGURT.

La leche que se selecciona para la fabricación de yogurt debe ser de la más alta calidad bacteriológica. Debe tener un bajo contenido en bacterias y sustancias que puedan impedir el desarrollo de los cultivos típicos del yogurt (antibióticos, residuos de sustancias de limpieza y/o bacteriófagos).

Las etapas que comprenden el proceso de elaboración de *yogurt* a nivel industrial, son las siguientes:

1. *Filtrado:*

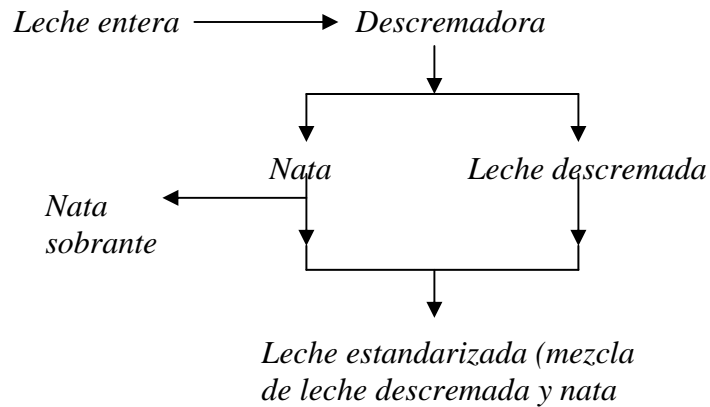
La leche cruda trae consigo innumerables macro y micropartículas o cuerpos extraños, cuya intensidad y peculiaridad dependen de los cuidados que se hayan practicado durante y después del ordeño. Es importante, por lo tanto, que al momento del recibo de la leche en las plantas se eliminen estas impurezas para garantizar una máxima calidad de los productos elaborados. El sistema más generalizado para esta depuración física es el filtrado, el cual consiste en hacer pasar la leche a través de filtros desechables o de acero inoxidable. (Keating y Rodríguez, 1992, p. 117).

2. *Estandarización del contenido en grasa de la leche:*

Debido a que la leche tiene unos contenidos de grasa variables, se le somete a una normalización o estandarización. Esta operación permite ajustar su contenido de materia grasa a valores relativamente constantes, según se quiera obtener un yogurt descremado, semidescremado o entero.

Los valores del contenido en grasa quedan fijados por los gustos del consumidor y por las disposiciones legales de los distintos países, variando de un 0,1 a un 4%.

La estandarización de la leche se puede esquematizar del modo siguiente:



La descremadora es un aparato que permite separar la grasa que contiene la leche por acción de la fuerza centrífuga, de ésta manera se obtiene nata y leche descremada. Una descremadora consiste en un tambor rotatorio que en su interior está provisto de una serie de discos o platillos cónicos (en forma de embudos colocados unos dentro de otros), los cuales presentan unos agujeros de distribución que se encuentran alineados verticalmente. La eficiencia de estos discos es mayor cuando menor es la distancia entre ellos. Esta disposición fue ideada para evitar la turbulencia del fluido que dificulta la separación, además reducen el trayecto que cada glóbulo de grasa debe recorrer en el tambor. (Nasanovsky, Garijo y Kimmich, 2008).

La leche entra al equipo y es llevada a los discos a través de los agujeros de distribución. La leche descremada es lanzada por la fuerza centrífuga hacia la periferia, mientras que los glóbulos grasos, al tener una densidad menor que la leche descremada, se mueven hacia el interior (el eje de rotación), y de allí a través de un canal hacia la punta cónica del recipiente. La leche descremada sale por el conducto inmediatamente inferior al de la nata.

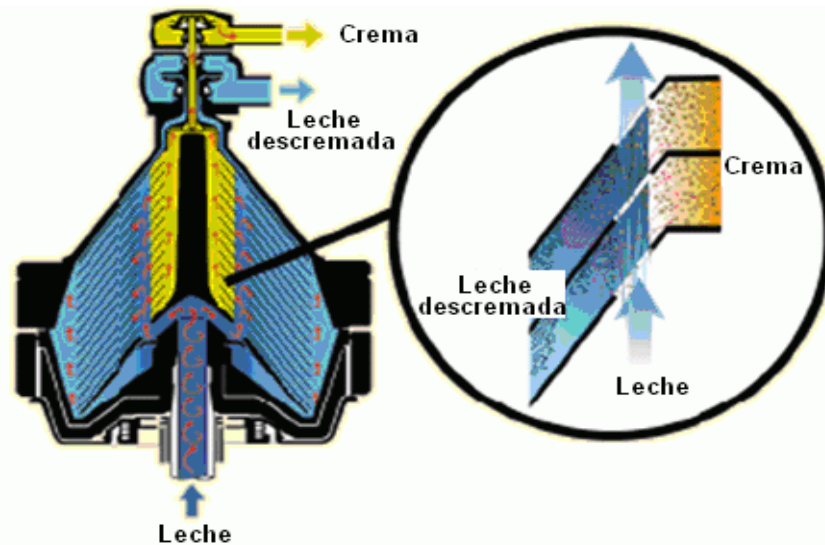


Fig. 4.1. *Descremadora*

Mediante este proceso, cualquier otra partícula extraña a la leche, usualmente más pesada que ella (por ejemplo, polvo), también puede ser separada y expulsada de la descremadora en forma automática.

Para efectuar el descremado de la leche se recomienda que ésta tenga una temperatura de 30 a 35 °C.

Luego del descremado, una parte de la nata retirada es reincorporada de nuevo a la leche para restituir el contenido graso de la misma según los requerimientos del producto.

3. *Estandarización del extracto seco magro de la leche:*

El porcentaje de extracto seco magro de la leche destinada a la elaboración de yogurt (que incluye principalmente lactosa, proteínas y sales minerales) viene regulado bien directamente, por las normas legales de cada país, bien indirectamente, por la necesidad de los fabricantes de conseguir un producto con unas determinadas propiedades físicas y organolépticas.

Desde el punto de vista de los fabricantes, las propiedades físicas del yogurt, es decir, la consistencia/viscosidad del coágulo, son de gran importancia y, en general, cuanto mayor sea el contenido en extracto seco magro de la mezcla destinada a la elaboración de yogurt, mayor consistencia y viscosidad tendrá el producto final.

Robinson y Tamime (1991), expresan que el extracto seco de la mezcla destinada a la elaboración de yogurt se puede regular mediante la adición de leche en polvo, adición de suero de leche en polvo, adición de caseína en polvo, concentración por evaporación o concentración por filtración a través de membranas.

➤ *Adición de leche en polvo:* En la industria es muy frecuente la utilización de leche en polvo, entera o desnatada, para el enriquecimiento de la leche destinada a la elaboración de yogurt de consistencia espesa y suave. La proporción de leche en polvo añadida a la mezcla base puede oscilar de un 1 a un 6 %, recomendándose por lo general valores del 3-4 %, ya que si se añaden porcentajes superiores ello puede conferir al yogur «sabor a polvo».

➤ *Adición de suero de leche en polvo:* Este producto se obtiene como subproducto de la elaboración de queso. En el mercado existen muchos tipos diferentes de suero de leche procedentes de la elaboración de queso cuyas características dependen del procesado de los mismos previo a la deshidratación, es decir, desmineralización, eliminación de la lactosa, concentración de las proteínas, deshidratación directa, etc. El porcentaje de adición recomendado de suero para la elaboración del yogurt es del 1-2 %, ya que concentraciones superiores pueden originar a un desagradable «olor y/o sabor a suero».

➤ *Adición de caseína en polvo:* Se pueden elaborar distintos tipos de caseína en polvo a partir de leche desnatada, cuyas propiedades dependen de la técnica utilizada para la precipitación de la misma. La caseína en polvo, como su propio nombre indica, contiene principalmente caseína y su adición a la mezcla base destinada a la elaboración de yogurt supone un aumento de la concentración de proteína en el producto y de su viscosidad.

➤ *Concentración por evaporación:* La concentración de la leche normalizada para la elaboración de yogurt puede efectuarse mediante evaporación, en la cual se elimina un 10-25 % de agua, aumentando el extracto seco total un 2-4 %. La eliminación del agua de la leche se hace a vacío, lo que permite además arrastrar el aire retenido, mejorando la estabilidad del coágulo y reduciendo la sinéresis durante el almacenamiento del producto final. En las líneas de procesado de yogurt pueden incluirse evaporadores de un sólo efecto.

➤ *Concentración por filtración por membranas:* La filtración a través de membranas es un proceso desarrollado para concentrar y/o separar los sólidos de una mezcla acuosa, siendo los tipos más comunes de filtración por membranas la ósmosis inversa (OI), en ocasiones denominada hiperfiltración y la ultrafiltración (UF). Los constituyentes de la leche que pasan a través de las membranas se conocen como permeato y el material que no las atraviesa, es decir, la fracción concentrada, se conoce como retentato. Las membranas de OI permiten únicamente el paso de agua y

el retentato queda constituido por todos los constituyentes de la leche concentrados, mientras que las membranas de UF permiten el paso de solutos de bajo y medio peso molecular, es decir, agua, sales y lactosa, por lo que el retentato queda constituido por una concentración de las proteínas y macromoléculas. La UF resulta más aplicable debido a la ventaja que supone obtener una mezcla base con una concentración elevada de proteínas y baja de lactosa.

4. Adición de estabilizantes: La finalidad de la adición de estabilizantes a la mezcla base es mejorar y mantener las características deseables del yogurt, es decir, textura, viscosidad/consistencia, aspecto y cuerpo.

El coágulo de yogurt es normalmente sometido a tratamientos mecánicos y térmicos durante la elaboración, los cuales pueden determinar una disminución de la viscosidad; este defecto se puede solventar mediante la adición de estabilizantes. Algunos de los estabilizantes utilizados son goma arábica, goma guar, alginatos, gelatina, pectina y almidones.

5. Adición de azúcares y/o agentes edulcorantes: La principal finalidad de la adición de azúcares o agentes edulcorantes es atenuar la acidez del producto, dando un sabor adecuado. Los principales carbohidratos utilizados para la fabricación de yogurt, son: sacarosa, fructosa, glucosa, aspartame, sorbitol y sacarina, entre otros.

6. Homogenización: Es el proceso mediante el cual se someten los glóbulos grasos a tratamiento mecánico para romperlos y convertirlos en glóbulos de menor diámetro y dispersarlos de modo uniforme en la leche para retardar su separación. La velocidad de sedimentación de estas partículas tan pequeñas es extremadamente baja; por ello el producto homogeneizado es bastante estable. (Enciclopedia Agropecuaria, 2001, p. 335).

La operación consiste en enviar la leche a alta presión, de 100 a 300 kg/cm², a través de un conducto que está obstruido parcialmente en su extremo de salida por un tapón cónico de acero. Sobre esta superficie choca la leche violentamente, con lo que se consigue fraccionar el glóbulo de grasa a dimensiones entre 1 y 2 micras. La presión del tapón de acero está condicionada por un resorte, cuya tensión se regula con un tornillo. La salida de la leche se efectúa por la abertura que deja el tapón y, en esta zona, se produce un descenso rápido de la presión de la leche, lo que contribuye igualmente al estallido de los glóbulos de grasa.

La homogenización también mejora la consistencia de la leche, otorga mayor viscosidad y presenta un color más blanco y atractivo. Sin embargo, puede presentar ciertos inconvenientes, ya que la rotura de los glóbulos grasos produce una superficie grasa de un área mucho mayor, sobre la que las enzimas que desdoblan las grasas, llamadas lipasas, pueden actuar para producir sabores desagradables rancios o

amargos. Por ello, es importante destruir las lipasas sometiendo a la leche a una temperatura de pasteurización antes o inmediatamente después de la homogenización.

La temperatura que se recomienda para homogenizar la leche es entre 60-70 °C.

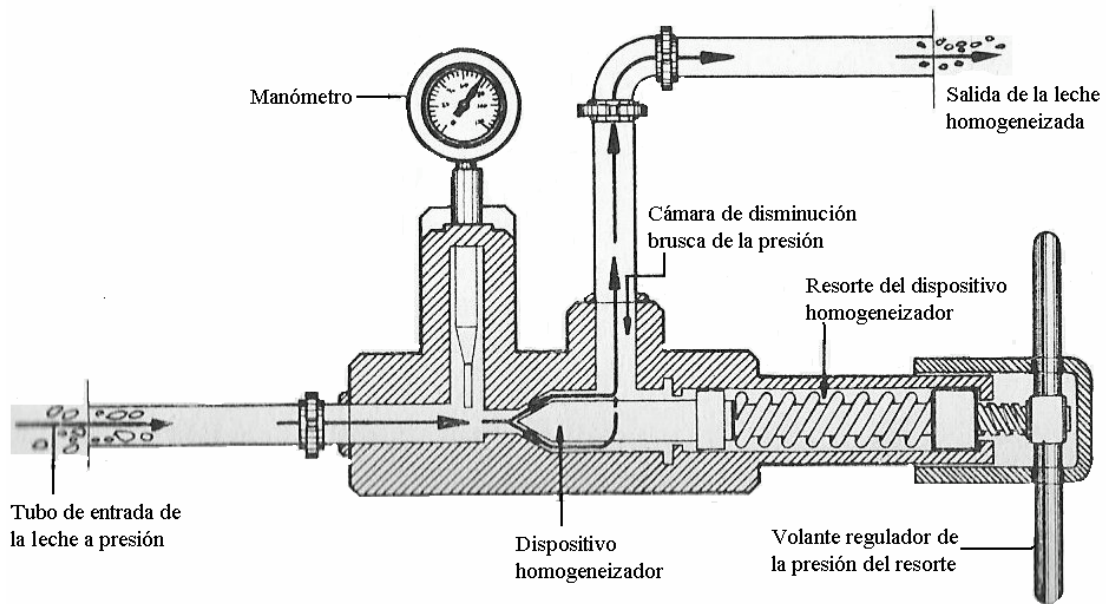


Fig. 4.2. Esquema de un homogeneizador.

7. **Pasteurización:** Es el proceso mediante el cual se somete la leche a un tratamiento térmico con la finalidad de, en primer término, destruir todos los agentes microbianos patógenos causantes de enfermedades que afectan al ser humano, y en segundo, disminuir el número de aquellos microorganismos que pueden afectar la calidad del producto, produciendo el mínimo daño a sus propiedades físico-químicas y organolépticas. (Keating y Rodríguez, 1992, p. 120).

Este proceso también tiene como finalidad reducir la población microbiana total para que no interfiera con el desarrollo de las bacterias lácteas del cultivo iniciador y desnaturalizar las proteínas del suero, con lo cual se consigue mejorar la consistencia del producto final y lo hace menos susceptible a la sinéresis.

La destrucción de los agentes microbianos patógenos depende del tiempo y temperatura de tratamiento. La siguiente tabla muestra el tiempo necesario para destruir algunas de estas bacterias patógenas.

Tabla 4.1. Tiempo (en segundos) de muerte térmica de algunas bacterias patógenas.

Bacterias	60 °C	65 °C	70 °C	75 °C	80°C
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> (tuberculosis)		17-32	10-17	5-8	2-3
<i>Brucella melitensis</i> (fibre malta)	175-210	32-55	22-29	10-12	2-4
<i>Corynebacterium diphtheriae</i> (difteria)	28-31	9-10	3	2	2
<i>Salmonella typhosa</i> (fiebre tifoidea)	76-82	17-19	6-7	2-3	2
<i>Streptococcus pyogenes</i> (intoxicación alimentaria)	1080-1330	58-63	12-15	5-7	3-4
<i>Escherichia coli</i>	125	18	-	4	2

Fuente: Keating, 1992.

Existen dos métodos de pasteurización los cuales se diferencian por la temperatura y el tiempo empleados:

a. *Lenta o discontinua:* Consiste en calentar la leche a temperaturas entre 63-65 °C y mantenerla a dicha temperatura por un período de 30 minutos. Este sistema se conoce con las siglas LTLT (low temperature, long time); el proceso se realiza en marmitas o tanques de doble camisa y se opera de manera discontinua.

Los recipientes o tanques son de capacidad variable (generalmente de 200 a 1500 litros) y preferentemente son de acero inoxidable. La leche se calienta por medio de vapor o agua caliente que circula entre las paredes del tanque, el cual debe estar provisto de un agitador para hacer más homogéneo el tratamiento.

Luego de los 30 minutos, la leche es enfriada a la temperatura de incubación 40-45 °C. Para efectuar este enfriamiento se usa el mismo tanque haciendo circular agua fría por la camisa exterior. Este método de enfriamiento tiene su inconveniente en que la temperatura desciende cada vez más lentamente a medida que se acerca a la temperatura del agua fría, lo cual hace que la leche, durante un cierto tiempo, este a las temperaturas en que crecen los microorganismos que quedarán luego del tratamiento térmico, lo cual hace que aumente la cuenta de agentes microbianos.

La pasteurización lenta sería práctica solamente para tratar volúmenes menores a los 2000 litros; para cantidades superiores a ésta es conveniente efectuar la pasteurización con el método de pasteurización rápida.

b. *Rápida o continua:* Este tratamiento consiste en elevar la temperatura de la leche a 72 °C como mínimo, durante no menos de 15 segundos. Este sistema se indica

con las siglas HTST (high temperature, short time) y el proceso se realiza con la ayuda de un intercambiador de calor, tubular o de placas, y tiene la ventaja de que se puede hacer en forma continua.

El intercambiador de calor tubular consta de dos tuberías concéntricas, una en el interior de otra, circulando los dos fluidos (el producto y el agente calefactor) por el espacio anular y por la tubería interior.

Los flujos pueden ser en el mismo sentido (corrientes paralelas) o en sentido contrario (contracorriente).

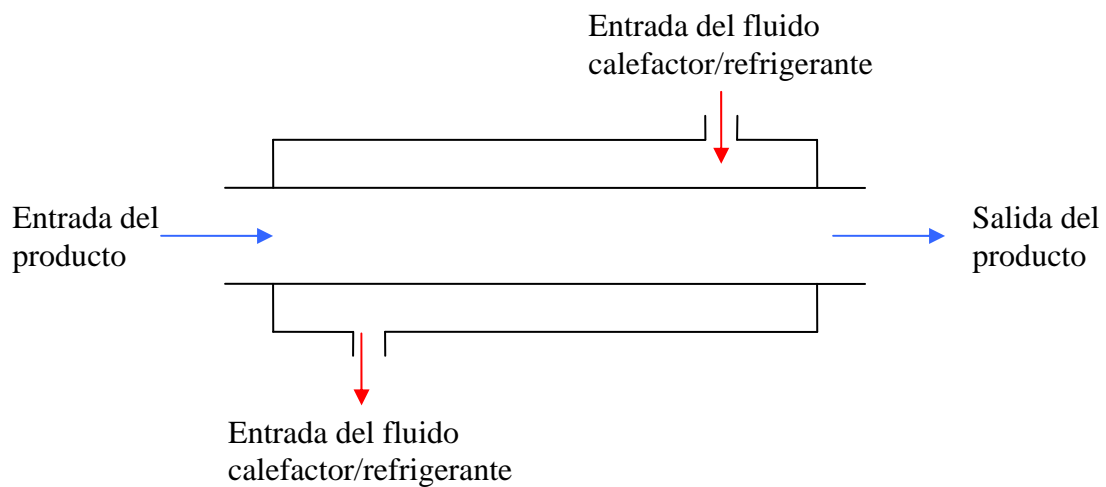
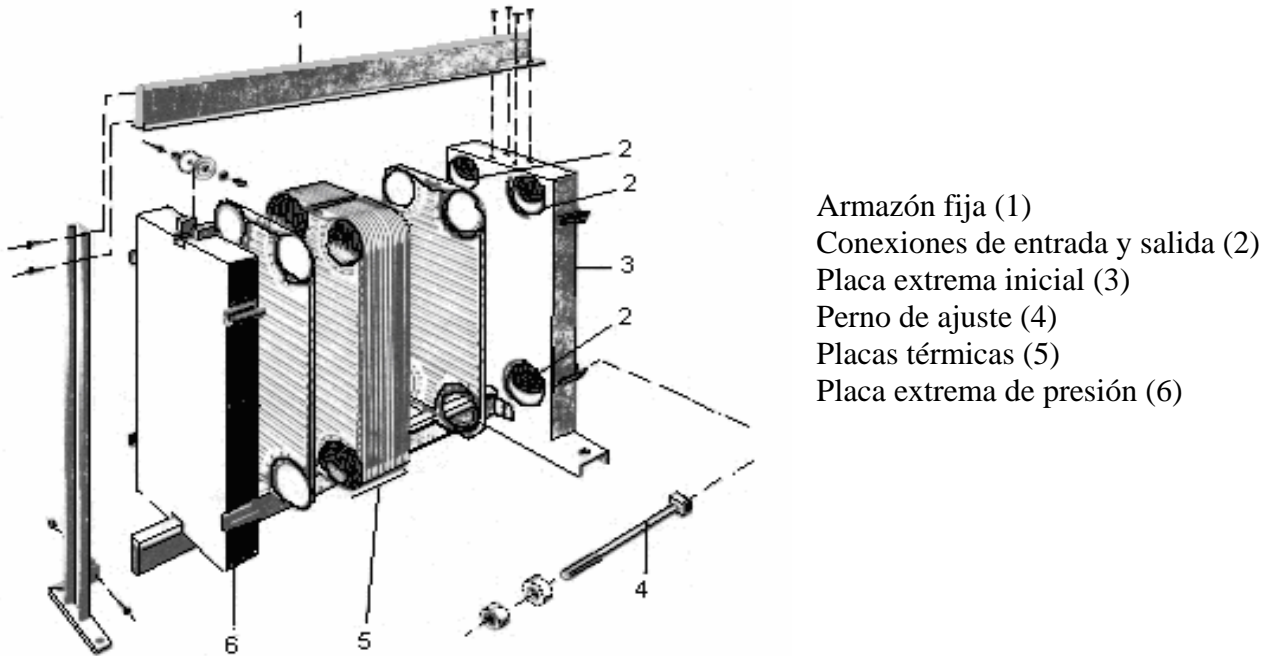


Fig. 4.3. Esquema de un intercambiador de calor tubular.

Una ligera variación la constituye el intercambiador de tres tubos concéntricos, donde el medio calefactor fluye por los espacios interior y exterior y la leche por el central. Otro tipo de intercambiador tubular utilizado es el de carcasa y tubos, en el que un fluido circula por el interior de los tubos mientras que el otro lo hace por la carcasa, exteriormente a éstos.

Sin embargo, el tipo más empleado de intercambiador de calor en las industrias lácteas, es el intercambiador de placas. Este equipo consta de una serie de placas corrugadas de acero inoxidable apretadas cada una contra la siguiente y montadas sobre un bastidor. El bastidor incluye una placa fija, una placa de presión y partes de conexión y presión. Las placas extremas no transfieren calor.

Fig. 4.4. Partes del intercambiador de placas.



A lo largo del borde de las placas se dispone de juntas de goma para evitar cualquier fuga o mezcla de la leche y el fluido calefactor (agua o vapor). El grosor de las juntas determina el espacio existente entre las placas (de 0,05 a 0,3 pulgadas). Estas juntas, sirven además, para conducir las corrientes de los dos fluidos de manera que ambos circulen por placas alternas. Los flujos de producto y agente calefactor/refrigerante pueden ser en paralelo (en el mismo sentido) o en contracorriente (en sentido contrario).

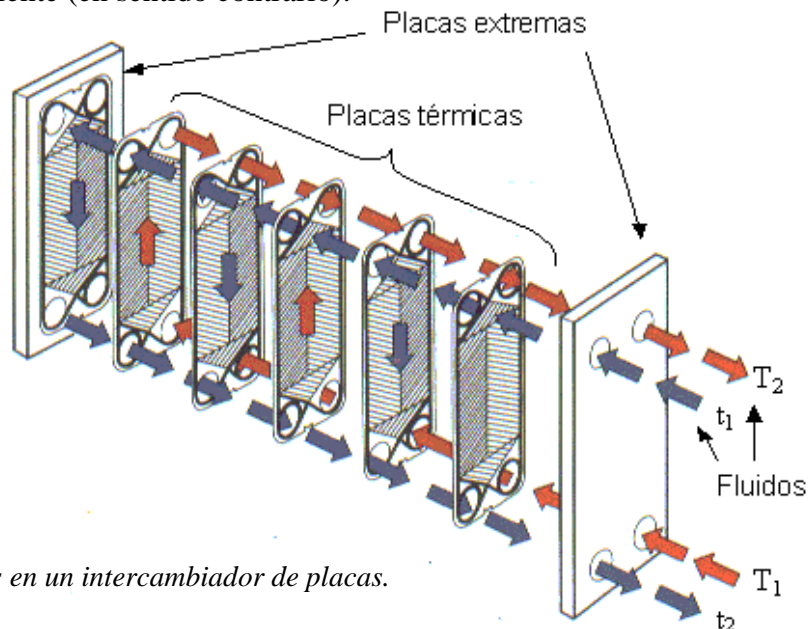


Fig. 4.5. Flujos en un intercambiador de placas.

Las placas tienen generalmente un espesor aproximado de 0.05 a 0.125 pulgadas y sus corrugaciones provocan un aumento de la turbulencia en el fluido que circula y de la superficie de intercambio, mejorando así la transmisión de calor. Las placas están agrupadas en secciones para la regeneración, calentamiento y enfriado.

El recorrido que hace la leche destinada a la elaboración de yogurt durante su pasteurización es el siguiente: La leche llega al equipo intercambiador, proveniente de un tanque regulador, y entra a la sección de regeneración. En esta sección la leche fría recibe calor de la leche que ya ha sido calentada y mantenida a la temperatura máxima del procesado. Al salir de la sección de regeneración, es frecuente pasar la leche a través de un filtro. Luego la leche entra en el área de calentamiento, donde se calienta por medio de agua caliente hasta la temperatura de pasteurización, ésta es de al menos 72 °C. Alcanzada esta temperatura la leche pasa a la sección de retención de temperatura; esta sección puede estar constituida por un tubo externo o bien un retardador incluido en el propio intercambiador; el más común es el tubo de retención, en donde la leche se mantiene a la temperatura de pasteurización durante 15 segundos por lo menos. A la salida de esta zona de retención, la leche pasa por una válvula de desviación; en esta válvula, si la leche no alcanza la temperatura de pasteurización, automáticamente la hace regresar al tanque regulador o de alimentación para ser luego reprocesada; pero si la leche alcanza la temperatura deseada, pasa entonces a la sección de regeneración, donde es enfriada por la leche cruda que entra; de allí pasa a la sección de enfriamiento, en donde, por medio de agua fría, se lleva a una temperatura final de 40-45 °C (temperatura de incubación).

Los intercambiadores de calor de placas ofrecen las siguientes ventajas:

- ♦ Pueden procesarse en forma continua grandes volúmenes de leche.
- ♦ Facilidad para su limpieza, empleando su sistema para hacer circular los higienizantes.
- ♦ Su mantenimiento es simple y pueden desmontarse rápida y fácilmente para su inspección.
- ♦ Requiere poco espacio.
- ♦ Puede aumentarse su capacidad fácilmente añadiendo más placas.
- ♦ Rapidez del proceso.
- ♦ Permiten el ahorro de energía mediante la regeneración.
- ♦ Aproximación de temperaturas de hasta 1 °C entre los fluidos.

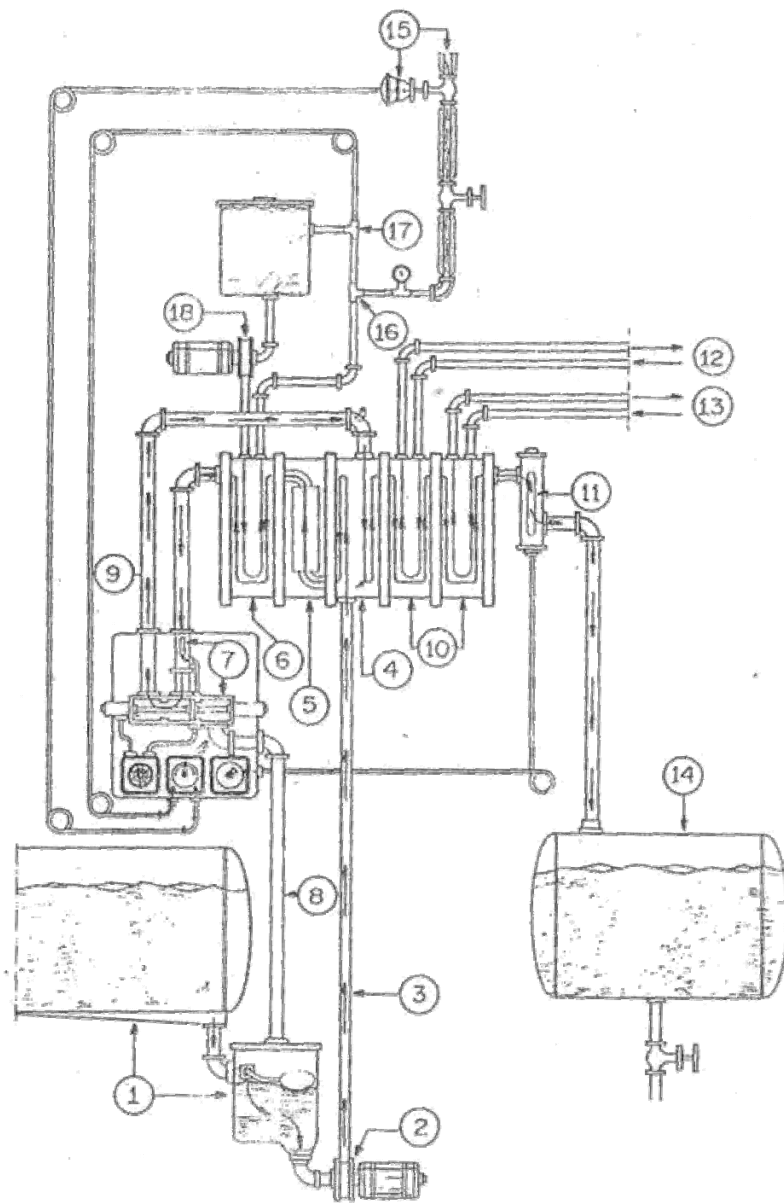


Fig. 4.6. Sistema de pasteurización.

(1) Tanque de leche cruda y depósito regulador del flujo con flotador.
 (2) Bomba con regulador y caudal, que alimenta al pasteurizador.
 (3) Tubería que conduce la leche cruda a la sección de precalentamiento del pasteurizador.
 (4) Sección de precalentamiento.
 (5) La leche precalentada pasa por el filtro.
 (6) La leche es pasteurizada a una temperatura mayor de 72 °C por medio del agua caliente.
 (7) Medidor de la temperatura.
 (8) Línea de regreso de la leche no pasteurizada adecuadamente.

(9) Tubería que conduce la leche pasteurizada hacia la sección de precalentamiento.
 (10) Secciones de enfriamiento de la leche.
 (11) Medidor de la temperatura de la leche pasteurizada y enfriada.
 (12) Suministro de agua fría.
 (13) Suministro de agua helada.
 (14) Tanque de la leche pasteurizada.
 (15) Válvula de desviación controlada por el medidor de la temperatura de la leche pasteurizada.
 (16) Inyector de vapor.
 (17) Medidor de la temperatura del agua caliente, conectado con el cuadro de control.
 (18) Bomba de circulación del agua caliente.

8. Inoculación: Consiste en adicionar a la leche el cultivo que contiene las bacterias que la transforman en yogurt.

Durante la elaboración del yogurt la leche, una vez sometida al tratamiento térmico, se enfría hasta 40-45 °C, que es el rango de temperatura perfecto para la siembra del cultivo. El cultivo del yogurt está compuesto principalmente por dos bacterias homofermentativas: *Streptococcus salivarius* subsp. *termophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, que se caracterizan porque cada una estimula el desarrollo de la otra.

El cultivo se añade en una proporción del 2-3% y debe agitarse muy bien para lograr una mezcla homogénea.

A partir de esta etapa, se diferencia la elaboración del Yogurt Firme y el Yogurt Batido, por lo tanto, se describirá el proceso de fabricación para cada uno de ellos.

4.2. YOGURT FIRME:

9. Adición de componentes minoritarios: Se añaden los componentes minoritarios no resistentes al calor, como aromatizantes y colorantes, ya que de haber sido añadidos antes del tratamiento térmico hubiesen sido destruidos por las altas temperaturas. Con la adición de estos componentes se persigue aumentar el atractivo del producto. (García y Olmo, 2008).

Cuando se adicionan frutas al yogurt, ya sean pedazos de frutas, puré de frutas o mermeladas, estas se colocan al momento del envasado en el fondo del envase antes de añadir la leche sembrada.

10. Envasado: El envasado es una etapa muy importante del proceso de elaboración de yogurt, debe ser realizada cumpliendo con los principios de sanidad e higiene. Las operaciones de envasado incluyen: limpieza y desinfección preliminar del equipo que entra en contacto directo con el producto, alimentación de los envases a la máquina llenadora, envasado de la leche inoculada (para el yogurt de frutas, éstas se adicionan en los envases antes de añadir la leche), tapado del envase y acomodado de los envases en las cestas. (Manual para Educación Agropecuaria, 1981).

El yogurt debe llegar hasta el consumidor en adecuadas condiciones, por lo tanto el material de envasado juega un importante papel. En general, los materiales de envasado en contacto directo con los alimentos deben ser atóxicos y químicamente inertes, es decir, no reaccionar con el producto que contienen. El envase es la carta de

presentación del producto hacia el comprador, por tanto, deberá elegirse un envase funcional, operativo y que conserve intactas las características iniciales del producto.

El yogur se comercializa en envases de vidrio o plástico. Aunque el vidrio es un material de envasado excelente, su utilización está limitada básicamente por su elevado costo de fabricación y la actual tendencia del mercado hacia los envases de un solo uso, algunos países de Europa y Oriente Medio siguen utilizándolos.

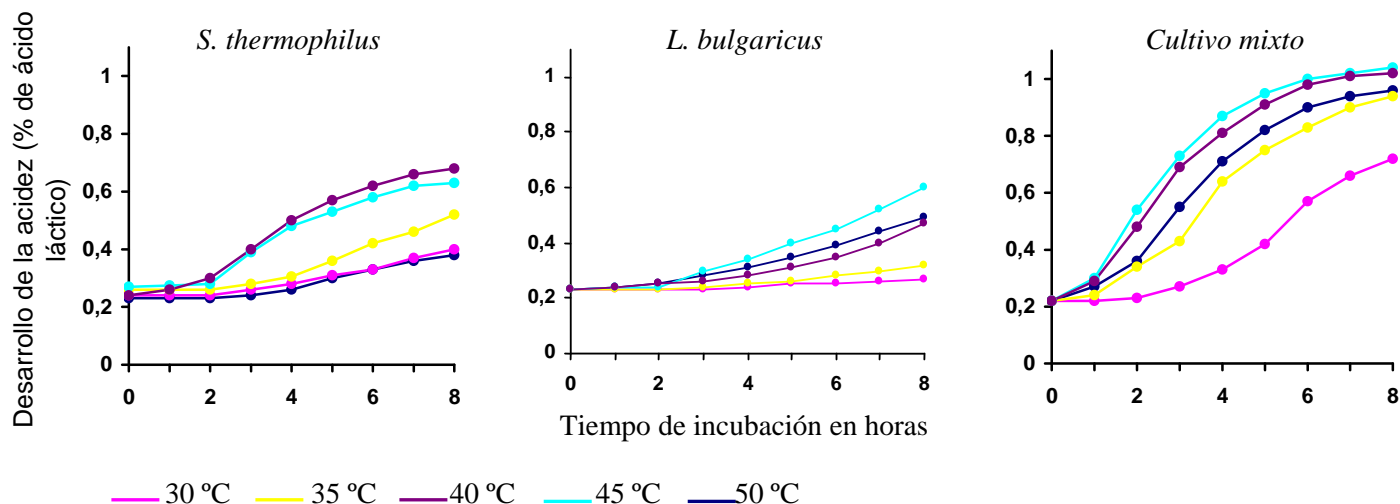
Los envases plásticos son los mayormente empleados en el envasado de yogurt firme. El sistema de envasado puede ser de «llenado y cierre» cuando los envases plásticos son preformados, y de «formación, llenado y cierre» cuando el material polimérico es enviado a las industrias lácteas en forma de rollos continuos, formándose el envase inmediatamente antes de proceder a su llenado. El cierre de los envases suele hacerse con láminas de aluminio termoselladas o con tapas de plástico a presión. Las tapas termoselladas son más populares, ya que confieren a los recipientes resistencia al agua, con lo que se evita la contaminación y filtración. Las láminas de aluminio son utilizadas por su escasa o nula permeabilidad a los gases y olores, aspecto brillante y facilidad para ser decoradas.

Todos los tipos de envasadoras disponibles para yogurt, emplean una bomba de desplazamiento positivo o de pistón y medidores de volumen. Además la mayoría disponen de sistemas de marcado (por ejemplo de fechas) y de unidades de etiquetado (por ejemplo, para envases de gran volumen con tapas a presión).

11. Incubación: Esta operación consiste en mantener la leche inoculada a temperaturas entre 40-45 °C (condición favorable para el crecimiento del cultivo mixto), durante 2,5 a 6 horas, dependiendo del grado de acidificación que se pretenda alcanzar y de la cantidad de cultivo que se añadió. (Robinson y Tamime, 1991).

Aunque las bacterias adicionadas pueden crecer independientemente, el grado de producción de ácido láctico es mucho más alto cuando se utilizan ambas que cuando se utilizan individualmente. En la siguiente figura se muestra la actividad de un cultivo típico de yogurt y de cepas puras de *S. thermophilus* y *L. bulgaricus*, observándose una marcada diferencia entre la tasa de producción de ácido por los cultivos mixtos y las cepas puras. Y aunque la actividad de los cultivos mixtos es óptima a 45 °C se recomienda, para alcanzar la relación 1:1 entre *S. thermophilus* y *L. bulgaricus*, incubar a 42 °C utilizando un inóculo del 2 %.

Fig. 4.7. Comportamiento de cepas de cultivos de yogurt puras y mixtas



Fuente: Robinson y Tamime, 1991.

Durante la incubación las bacterias lácticas metabolizan la lactosa presente en la leche para cubrir sus necesidades energéticas, dando lugar a la formación de ácido láctico y de otros compuestos importantes. La producción gradual de ácido láctico comienza a desestabilizar los complejos de caseína-proteínas del lactosuero desnaturalizadas, por solubilización del fosfato cálcico y de los citratos. Los agregados de micelas de caseína y/o las micelas aisladas se van asociando y coalescen parcialmente a medida que el pH se aproxima a su punto isoeléctrico, es decir, 4,6-4,7, dando lugar a la formación de una red de gel o matriz reticular que atrapa en su interior al resto de los componentes de la mezcla base, incluyendo la fase acuosa, quedando así formado el coágulo que constituye el yogurt.

El ácido láctico también proporciona al yogurt su sabor característico, es decir ácido, pudiendo además contribuir o acentuar el aroma del producto.

Entre las bacterias de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, existe una relación simbiótica. El *S. thermophilus* crece más rápido y produce ácido fórmico que estimula el crecimiento del *L. bulgaricus*. De otro lado la actividad proteolítica del *L. bulgaricus* produce péptidos y aminoácidos que estimulan el crecimiento del *S. thermophilus*. Es por este efecto sinérgico favorable del crecimiento conjunto, que se utiliza esta mezcla simbiótica. Estos microorganismos son los responsables finalmente de la formación de aroma y textura típicos del yogurt.

Los compuestos que contribuyen al aroma del yogurt, pueden ser agrupados en cuatro categorías:

- Ácidos no volátiles, como el láctico, pirúvico u oxálico.
- Ácidos volátiles, como el fórmico, acético, propiónico o butírico.
- Compuestos con grupos carbonilo, como acetaldehído, acetona, acetoína o diacetilo.
- Un grupo heterogéneo de sustancias, entre las que se incluyen algunos aminoácidos y/u otros compuestos formados por degradación de las proteínas, la grasa o la lactosa por acción de la temperatura.

La razón por la que la fase de incubación del yogurt firme tiene lugar en los envases de comercialización, es para no destruir el gel formado durante la fermentación.

12. Enfriamiento y almacenamiento: La elaboración de yogurt es un proceso biológico, siendo la refrigeración uno de los métodos tradicionales más empleados para controlar la actividad metabólica de los cultivos iniciadores y sus enzimas. El enfriamiento del coágulo comienza inmediatamente después de alcanzar la acidez deseada.

Debido a la escasa actividad de los microorganismos del yogurt a temperaturas de 10 °C aproximadamente, el objetivo básico del enfriamiento es disminuir la temperatura del coágulo de 45 °C a menos de 10 °C (preferiblemente a unos 5 °C) tan rápidamente como sea posible, para así controlar la acidez final del producto.

El enfriamiento se inicia en la cámara de incubación mediante la introducción de aire frío, haciendo descender la temperatura del producto hasta 18 °C-20 °C, continuándose después en cámaras de refrigeración hasta temperaturas inferiores a 5 °C. Los yogures permanecerán en almacenamiento en estas cámaras de refrigeración hasta su distribución.

Durante las primeras 24-48 horas de almacenamiento en refrigeración se observa una mejora de las características físicas del coágulo, principalmente como consecuencia de la hidratación y/o estabilización de las micelas de caseína, por lo que resulta aconsejable retrasar el reparto y distribución del producto durante este tiempo

La temperatura debe mantenerse durante todo el periodo de almacenamiento entre 2 °C y 5 °C, y nunca sobrepasar los 10 °C en las etapas intermedias de la cadena de distribución.

4.3. YOGURT BATIDO:

9. **Incubación:** Tras la adición del fermento, la leche se incuba en tanques de fermentación, donde se mantiene a temperaturas de 42 °C-45 °C durante 2,5 a 6 horas. Durante el proceso de incubación, el pH cambia desde un valor inicial de la leche de 6,6 hasta un valor final de 4,4-4,7, que corresponde aproximadamente a un cambio de 0,15% hasta 1% de acidez expresada como ácido láctico.

Las modificaciones físicas y químicas de la leche, responsables de la formación del coágulo, son exactamente las mismas que las del yogurt firme.

10. **Enfriamiento:** Una vez alcanzada la acidez deseada del producto debe comenzar la refrigeración del mismo, para reducir la temperatura de 45 °C a 15-20 °C, antes de proceder a la adición de los agentes aromatizantes y al envasado. El objetivo básico es reducir la actividad metabólica del cultivo, es decir, de *S. thermophilus* y *L. Bulgaricus* ya que si la refrigeración se retrasa, el yogurt puede hacerse inaceptable debido a una acidez excesiva.

El proceso de enfriamiento se realiza en los propios tanques de fermentación o tanques multiuso, en los cuales se utiliza normalmente agua fría que circula por la camisa de los mismos.

En contraste con el lento intercambio de calor que permiten los tanques de refrigeración, los intercambiadores de calor de placas o tubos permiten un enfriamiento más rápido del yogurt. El intercambiador de calor de placas presenta una separación de las placas mucho mayor que en el utilizado para pasteurizar, minimizando así el riesgo de producir alteraciones en la estructura del coágulo. Sin embargo, en estos equipos resulta inevitable cierto grado de alteración de la estructura del coágulo durante la transferencia del yogurt.

11. **Batido y adición de componentes minoritarios:** El batido consiste en la ruptura de la estructura del coágulo formado durante la incubación, agitándolo hasta alcanzar una mezcla homogénea.

La ruptura del coágulo se realiza después del enfriamiento, el fundamento de este método es que el coágulo es más estable a bajas temperaturas que a temperaturas superiores a 20 °C, por lo que se tienen menos alteraciones durante el envasado. Cuando se desea un producto con consistencia más líquida, se rompe el coágulo antes de la fase de enfriamiento, con lo cual se facilita el paso del producto por los intercambiadores de calor de placas o tubulares.

Posteriormente, se adicionan y mezclan los aromatizantes, colorantes y/o las frutas en trozos, jarabe o puré.

12. Envasado: Es una etapa fundamental en la calidad del producto, donde se debe controlar que tanto el envase como la atmósfera durante el proceso sean estériles. Las operaciones de envasado son similares a las realizadas para el yogurt firme, diferenciándose sólo en que el yogurt batido se envasa luego de ser elaborado.

Para el yogurt batido los envases son de plástico (polietileno) y cartón principalmente. La finalidad del envase es la de contener, proteger y conservar el producto, además de servir para informar al consumidor. También facilita la venta del producto y su empleo.

Los envases de cartón, al igual que los de plástico, se pueden enviar a las industrias lácteas preformados y plegados (por ejemplo, «Pure Pack» o «Tetra Rex») o en forma de rollo (Tetrabrick). La secuencia de envasado para envases de cartón preformados es la siguiente:

- Se coloca una pila de envase plegados en un sistema de alimentación de la maquina de llenado.
- Se toma un envase de esta pila y automáticamente se abre y se sella el fondo.
- Se llena el envase y se sella la parte superior.
- El producto envasado queda listo para su comercialización.

13. Enfriamiento y almacenamiento: Los yogures ya envasados se refrigeran a temperaturas inferiores a 5 °C en cámaras de refrigeración donde permanecerán hasta su posterior distribución.

La refrigeración del yogurt a temperaturas inferiores a 5 °C y su mantenimiento hasta el momento de su venta facilitan el enlentecimiento de las reacciones bioquímicas y biológicas que tienen lugar en el producto, permitiendo conservar su calidad hasta varias semanas después de su fabricación.

Diagrama de flujo de la elaboración del yogurt

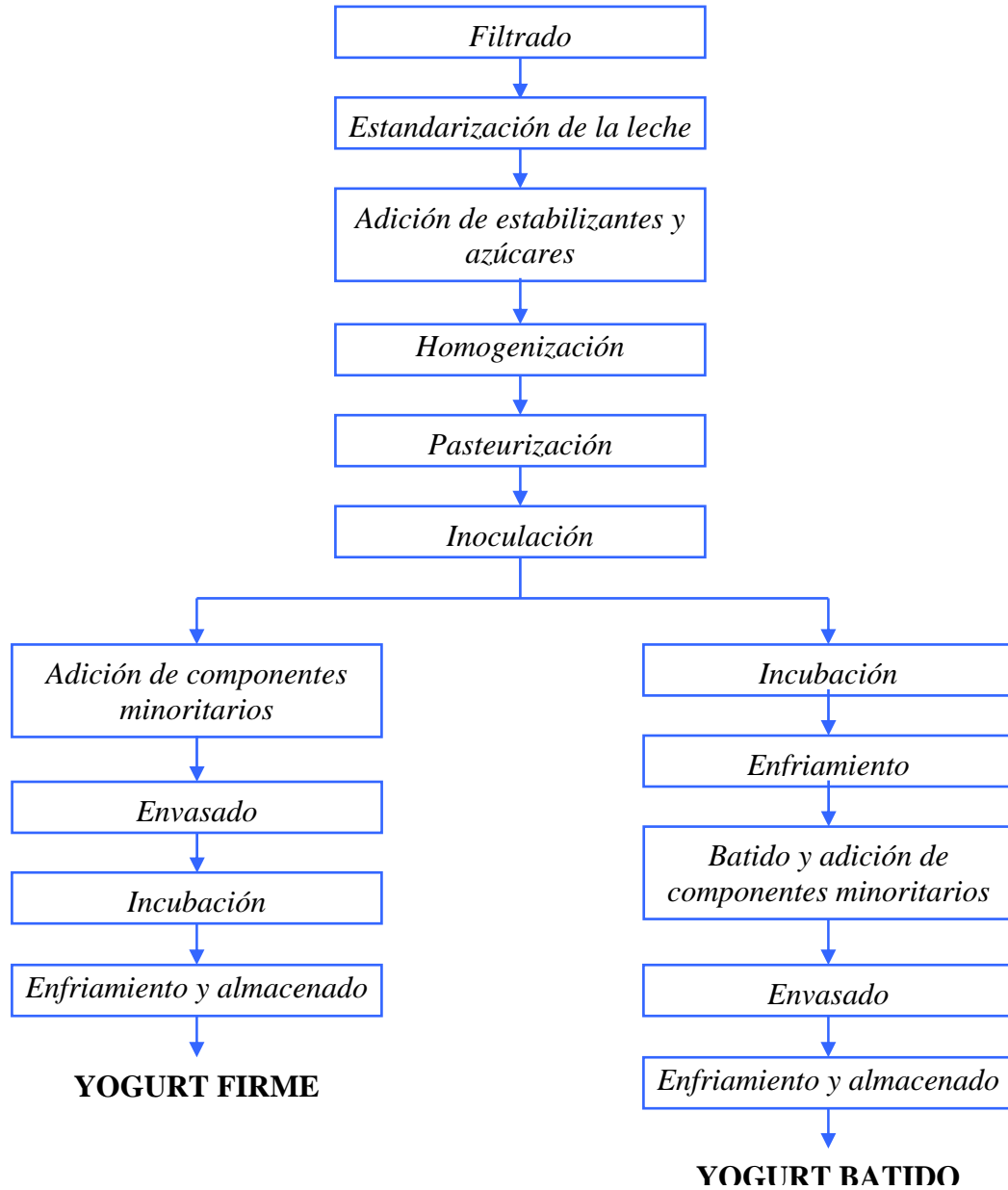


Fig. 4.8. Diagrama de flujo de la elaboración del yogurt.
Fuente: García y Olmo, 2008.

CAPÍTULO V

***DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA TECNOLÓGICA
DEL ÁREA DE YOGURT FIRME E
IDENTIFICACIÓN DE SU PROBLEMÁTICA EN
LA EMPRESA NACIONAL LÁCTEOS LOS
ANDES***

CAPÍTULO V

DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA TECNOLÓGICA DEL ÁREA DE YOGURT FIRME E IDENTIFICACIÓN DE SU PROBLEMÁTICA EN LA EMPRESA NACIONAL LÁCTEOS LOS ANDES

5.1. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ÁREA DE YOGURT FIRME.

Los equipos que componen la línea tecnológica del *Área de Yogurt Firme* en la empresa *Lácteos Los Andes*, son:

➤ **Mezclador centrífugo triblender.**

Este equipo es utilizado para la mezcla de materia prima de los diversos productos que se elaboran en el área. Sus características son:

- *Material:* Acero inoxidable.
- *Capacidad:* 1500 litros.

➤ **Tanque de preparación N° 15.**

Se utiliza para la estandarización de la mezcla base del yogurt y sus características son:

- *Material:* AISI 304.
- *Capacidad:* 4000 litros.



Fig. 5.1. *Tanque de preparación del Área de Yogurt Firme.*

➤ **Tanques de retención.**

En el área hay cuatro tanques de retención de doble camisa, estos tanques son empleados para el proceso de enfriamiento de la base hasta la temperatura de incubación, y para la incubación y mezcla con el jarabe del *Yogurt Batido*. Sus características son.

- *Material:* AISI 304.
- *Dependencia del servicio de enfriamiento:* Sistema de agua helada.
- *Capacidad:* Tanque N° 1: 4000 litros.
Tanque N° 2, 3 y 4: 3000 litros.



Fig. 5.2. *Tanques de retención.*

➤ **Tanques de inoculación.**

Son los tanques utilizados para inocular la base de los yogures firmes. Las características de estos tanques son:

- *Material:* AISI 304.
- *Capacidad:* Tanque N° 1 y N° 2: 180 litros.
Tanque N° 3 y N° 4: 200 litros.



Fig. 5.3. *Tanques de inoculación.*

➤ **Marmitas.**

Hay tres marmitas, las cuales se usan para la elaboración de arroz con leche, mermeladas y jarabes de frutas. Sus características son:

- *Material:* AISI 304.
- *Dependencia del servicio de enfriamiento:* Sistema de agua helada.
- *Capacidad:* Marmita N° 1 y N° 2: 380 litros.
Marmita N° 3: 600 litros.
- *Medidas:* Marmita N° 1 y N° 2: 1,10 m de ancho.
0,74 m de alto.
Marmita N° 3: 1 m de ancho.
0,94 m de alto.



Fig. 5.4. Marmitas.

➤ **Tinas de la mermelada y el jarabe.**

Son utilizadas para realizar el enfriamiento de la mermelada y el jarabe en las duchas de enfriamiento. Tienen las siguientes características:

- *Material:* AISI 304.
- *Capacidad:* Entre 390 y 430 litros.

Yogurt Firme cuenta con aproximadamente 16 tinas.

➤ **Envasadoras.**

El área de *Yogurt Firme* tiene dos máquinas para el envasado de los productos.

- *Máquina de envasado Hamba.* Presenta las siguientes características:
 - * Dispone de unidad dispensadora automática para la carga de envases y tapas.
 - * Cuatro líneas de llenado.
 - * Cierre de los envases por termosellado
 - * Capacidad de 120 envases/minuto.

- *Máquina de envasado Huhtamaki.* Cuenta con:
 - * Dispensador automático de envases.
 - * Dos líneas de llenado.
 - * Sistema de cierre por termosellado.
 - * Capacidad de 80 envases/minuto.



Fig. 5.5. *Máquina de envasado.*

➤ **Motor-bomba de descarga de leche inoculada para la Hamba.**

Sus características son:

- *Marca:* Us Motors/Waukesha.
- *HP:* 1.
- *RPM:* 1730.
- *Voltios:* 230/460.
- *Amperios:* 3.6/1.8.

➤ **Motor-bomba de descarga de leche inoculada para la Huhtamaki.**

Tiene las siguientes características:

- *Marca:* Weatherford.
- *HP:* 1.
- *RPM:* 1150.
- *Voltios:* 220/380.
- *Amperios:* 3.77/2.18.

➤ **Motor-bomba de descarga de base de los tanques de enfriamiento.**

Sus características son:

- *HP:* 2.5.
- *RPM:* 1700.
- *Voltios:* 220/380.
- *Amperios:* 1.75/1.75.

➤ **Motor-bomba de recirculación de los tanques de enfriamiento.**

Sus características son:

- *Marca:* AC Motors.
- *HP:* 3.
- *RPM:* 3450.
- *Voltios:* 230/460.
- *Amperios:* 8/4.

➤ **Motores de los agitadores de los tanques de enfriamiento.**

Cada motor del agitador de cada tanque de enfriamiento tiene las siguientes características:

- *HP: 5.*
- *RPM: 1725.*
- *Voltios: 230.*
- *Amperios: 4.8/4.6.*

➤ **Motores de los agitadores de las marmitas N° 1 y 2.**

Tienen las siguientes características:

- *HP: 2.*
- *RPM: 1725.*
- *Voltios: 230/460.*
- *Amperios: 7/3.5.*

➤ **Motor del agitador de la marmita N° 3.**

Sus características son:

- *HP: 3.*
- *RPM: 1745.*
- *Voltios: 208-230/460.*
- *Amperios: 8.8-8.4/4.2.*

5.2. SITUACIÓN DE LA LÍNEA TECNOLÓGICA DEL ÁREA DE YOGURT FIRME.

La línea tecnológica del área de *Yogurt Firme* no cuenta con los equipos de pasteurización y homogeneización, por lo tanto, para realizar estos procesos debe emplear el intercambiador de placas y homogenizador del área de *Derivados Lácteos*, las características de estos equipos son:

➤ **Intercambiador de calor de placas.**

Utilizado para la pasteurización de la mezcla base de los yogures. Sus características son:

- *Marca: APV Royal Paraflow.*
- *Modelo: R-51.*
- *Material: Acero inoxidable sanitario.*
- *Una etapa de precalentamiento: 8 placas.*
- *Una etapa de calentamiento: 21 placas.*

- *Una etapa en desuso: 56 placas.*
- *Capacidad: 6.850 litros/hora.*
- *Derivación: al homogenizador.*
- *Sentido de flujo: Contracorriente.*
- *Dependencia del servicio: Vapor y agua fría.*
- *Diámetro de tuberías de entrada y salida: 2,5 pulgadas.*

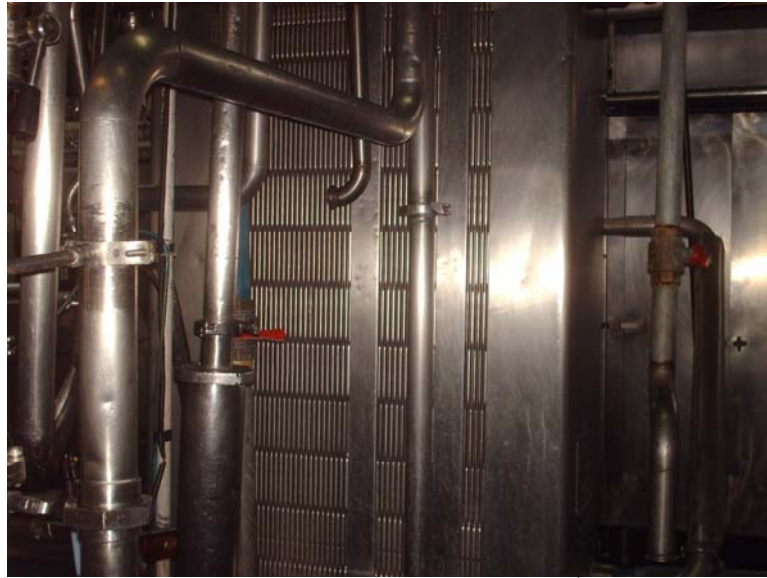


Fig. 5.6. Intercambiador de calor de placas del Área de Derivados Lácteos.

➤ **Homogenizador.**

Las características de este equipo son:

- *Marca: APV Gaulin.*
- *Material: Acero inoxidable.*
- *Presión: 3.000 psi.*
- *Dimensiones: Ancho: 1,11 m.
Largo: 1,82 m.
Alto: 1,13 m.
Área que ocupa: 2,02 m².*
- *Diámetro de las tuberías de entrada y salida: 2 pulgadas.*



Fig. 5.7. Homogenizador del Área de Derivados Lácteos.

➤ **Motor-bomba de agua caliente del Pasteurizador de placas.**

Sus características son:

- *Marca:* Uniclosed.
- *HP:* 15.
- *RPM:* 1840.
- *Voltios:* 230/460.
- *Amperios:* 3.9/1.9.

➤ **Motor principal del Homogenizador.**

Sus características son:

- *Marca:* Reliance Duty Master.
- *HP:* 75.
- *RPM:* 1765.
- *Voltios:* 230.
- *Amperios:* 132.

El hecho de que el área de *Yogurt Firme* no tenga un pasteurizador para su uso exclusivo, trae como consecuencia un retraso en el proceso de pasteurización de las bases y por consiguiente, un retraso en todo el proceso de producción del área de *Yogurt Firme* (pasteurización, homogenización, incubación, envasado y

enfriamiento), dado que el área debe esperar a que *Derivados Lácteos* desocupe el equipo para ella proceder con la pasteurización y homogenización de la base de los yogures. El área de *Derivados Lácteos* también se ve afectada por este problema, aunque no tanto como *Yogurt Firme*.

Durante un período de diez días se llevó un registro de los tiempos de parada que presentan ambas áreas (*Yogurt Firme* y *Derivados Lácteos*) en una jornada de trabajo (8 horas), dichos tiempos de parada son debidos a la situación mencionada. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 5.1. *Tiempo de paradas en las áreas de Yogurt Firme y Derivados Lácteos.*

Días	Áreas	
	Yogurt Firme	Derivados Lácteos
Día 1	85 min.	65 min.
Día 2	64 min.	---
Día 3	31 min.	---
Día 4	20 min.	35 min.
Día 5	---	25 min.
Día 6	---	---
Día 7	30 min.	30 min.
Día 8	56 min.	---
Día 9	38 min.	31 min.
Día 10	55 min.	---
Promedio de paradas	37,9 min.	18,6 min.

Fuente: *Empresa Nacional Lácteos Los Andes, 2008.*

Como se puede observar el área de *Yogurt Firme* es la más afectada con un promedio aproximado de 38 minutos de parada por turno de trabajo (8 horas). Estos 38 minutos de parada representan una disminución en la producción de *Yogurt Firme* y menos ingresos para la empresa, por lo que a continuación se realizan los cálculos necesarios para determinar la cantidad de producto que se deja de producir, dependiendo de la envasadora utilizada, y su equivalencia en bolívares.

Número de envases de yogurt que se dejan de producir en la Hamba y valor de los mismos:

$$120 \frac{\text{envases}}{\text{min}} \times 38 \text{ min} = 4.560 \text{ envases}$$

$$4.560 \text{ envases} \times \frac{1 \text{ bandeja}}{24 \text{ envases}} = 190 \text{ bandejas}$$

En la envasadora Hamba se dejan de producir 4.560 envases de yogurt que representan 190 bandejas, estos envases no producidos reducen, un tanto, los ingresos de la empresa, cuyo valor depende de la presentación del producto, por tal motivo a continuación se presenta la cantidad de dinero que se está perdiendo de acuerdo a la presentación del yogurt:

Presentación de 130 gramos:

$$4.560 \text{ envases} \times \frac{1,70 \text{ Bs. F.}}{1 \text{ envase}} = 7.752 \text{ Bs. F.}$$

Presentación de 180 gramos:

$$4.560 \text{ envases} \times \frac{2,10 \text{ Bs. F.}}{1 \text{ envase}} = 9.576 \text{ Bs. F.}$$

Número de envases de yogurt que se dejan de producir en la Huhtamaki y valor de los mismos:

$$80 \frac{\text{envases}}{\text{min}} \times 38 \text{ min} = 3.040 \text{ envases}$$

$$3.040 \text{ envases} \times \frac{1 \text{ bandeja}}{24 \text{ envases}} = 126,67 \cong 127 \text{ bandejas}$$

En 38 minutos se dejan de producir por la máquina de envasado Huhtamaki, 3.040 envases de yogurt que son aproximadamente 127 bandejas y las pérdidas en bolívares, dependiendo de la presentación del producto, son:

Presentación de 130 gramos:

$$3.040 \text{ envases} \times \frac{1,70 \text{ Bs. F.}}{1 \text{ envase}} = 5.168 \text{ Bs. F.}$$

Presentación de 180 gramos:

$$3.040 \text{ envases} \times \frac{2,10 \text{ Bs. F.}}{1 \text{ envase}} = 6.384 \text{ Bs. F.}$$

En forma general, se puede decir que en un turno de trabajo se dejan de producir 317 bandejas de yogurt y tomando en cuenta que el proceso productivo se ve

afectado en los 3 turnos de trabajo, serían 951 bandejas diarias que representan una disminución en los ingresos de la empresa de Bs. F. 38.760 como mínimo. Llevando esta cantidad a un mes son 1.162.800 Bs. F. y en un año los ingresos no generados son de 13.953.600 Bs. F.

La capacidad de producción del área de *Yogurt Firme* esta estimada en 6.300 bandejas diarias y de acuerdo a los resultados se están produciendo 5.349 bandejas.

La cantidad de productos que se están dejando de fabricar en el área de Derivados Lácteos, así como los ingresos que no se están obteniendo debido a ésta situación, en un turno de trabajo (8 horas), con Yogurt Líquido, que es el principal producto de ésta área, son:

Con la presentación de 1 litro:

$$102 \frac{\text{envases}}{\text{min}} \times 19 \text{ min} = 1.938 \text{ envases}$$

$$1.938 \text{ envases} \times \frac{5,50 \text{ Bs. F.}}{1 \text{ envase}} = 10.659 \text{ Bs. F.}$$

Con la presentación de 1/2 litro:

$$110 \frac{\text{envases}}{\text{min}} \times 19 \text{ min} = 2.090 \text{ envases}$$

$$2.090 \text{ envases} \times \frac{3,00 \text{ Bs. F.}}{1 \text{ envase}} = 6.270 \text{ Bs. F.}$$

Con la presentación de 1/4 litro:

$$110 \frac{\text{envases}}{\text{min}} \times 19 \text{ min} = 2.090 \text{ envases}$$

$$2.090 \text{ envases} \times \frac{1,50 \text{ Bs. F.}}{1 \text{ envase}} = 3.135 \text{ Bs. F.}$$

De acuerdo a estos resultados se tienen como mínimo una pérdida de 3.135 Bs. F. en una jornada de trabajo de 8 horas y que se convierten en 9.405 Bs. F. en un día. Por lo tanto, la cantidad de dinero que se deja de obtener en ésta área en un mes, son de 282.150 Bs. F. y al año son 3.385.800 Bs. F.

Entre las dos áreas, los ingresos no obtenidos por la empresa en un día, son de 48.165 Bs. F., en un mes son de 1.444.950 Bs. F. y en un año son de 17.339.400 Bs. F.

Debido a ésta problemática, la única solución es que la empresa adquiera un equipo pasteurizador para *Yogurt Firme*, por lo tanto, a continuación se realizarán los cálculos necesarios para el diseño de un pasteurizador de placas que pueda ser utilizado por el área de *Yogurt Firme*.

5.3. CÁLCULO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS PARA EL ÁREA DE YOGURT FIRME.

En primer lugar se establecen las especificaciones del equipo y se muestran las propiedades físicas de los fluidos.

<i>Especificaciones del equipo</i>	
L_p (m)	1,4
w_p (m)	0,4
b (m)	0,003
e_p (m)	0,002
A_p (m ²)	0,56
df_f (m ² ·h·°C/kJ)	$0,96 \times 10^{-6}$
df_c (m ² ·h·°C/kJ)	$1,67 \times 10^{-6}$

<i>Propiedades físicas de los fluidos</i>			
<i>Fluido frío: Leche</i>		<i>Fluido caliente: Agua</i>	
T_{ef} (°C)	25	T_{ec} (°C)	90
T_{sf} (°C)	65	T_{sc} (°C)	?
$T_{prom f}$ (°C)	45	$T_{prom c}$ (°C)	?
Cp_f (kJ/kg·°C)	3,831	Cp_c (kJ/kg·°C)	4,192
ρ_f (kg/l)	1,04	ρ_c (kg/l)	1
Q_f (l/h)	4.500	Q_c (l/h)	6.800
\dot{m}_f (kg/h)	4.680	\dot{m}_c (kg/h)	6.800

El método de cálculo utilizado será el de aproximación por el factor de corrección (F) de la diferencia de temperatura media logarítmica $(\Delta T)_{lm}$, descrito por Raju (citado por Sánchez y Zuleta, 2002). Los cálculos se realizarán por secciones.

Sección de Pre calentamiento.

El procedimiento de cálculo comprende los siguientes pasos:

1. Cálculo de la carga de calor (q):

$$q = \dot{m}_f \times Cp_f \times \Delta T_f$$

$$q = 4.680 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times (65 - 25)^\circ \text{C}$$

$$q = 717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

2. Cálculo de la temperatura de salida y temperatura promedio del fluido caliente (T_{sc} , $T_{prom c}$):

$$T_{sc} = T_{ec} - \left(\frac{q}{\dot{m}_c \times Cp_c} \right)$$

$$T_{sc} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C} - \left(\frac{717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{6.800 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 4,192 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}} \right)$$

$$T_{sc} = 64,84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{prom c}} = \frac{T_{ec} + T_{sc}}{2}$$

$$T_{\text{prom c}} = \frac{(90 + 64,84) \text{ }^{\circ}\text{C}}{2} = 77,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. Cálculo de las propiedades físicas de los fluidos a la temperatura promedio:

<i>Leche</i>		<i>Agua</i>	
μ_f (kg/m·h)	7,0243	μ_c (kg/m·h)	1,3130
k_f (kJ/m·h·°C)	2,1466	k_c (kJ/m·h·°C)	2,4191
μ_{prom} (kg/m·h)	4,1687		

4. Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica $((\Delta T)_{lm})$:

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(T_{sc} - T_{ef}) - (T_{ec} - T_{sf})}{\ln\left(\frac{T_{sc} - T_{ef}}{T_{ec} - T_{sf}}\right)}$$

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(64,84 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C} - (90 - 65) \text{ }^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{(64,84 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}}{(90 - 65) \text{ }^{\circ}\text{C}}\right)}$$

$$(\Delta T)_{lm} = 31,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

5. Cálculo del número de unidades de transferencia (NUT):

$$NUT = \frac{T_{sf} - T_{ef}}{(\Delta T)_{lm}}$$

$$NUT = \frac{(65 - 25)^\circ C}{31,85^\circ C} = 1,26$$

6. Determinación del factor de corrección de $(\Delta T)_{lm}$:

Configuración de flujo: 1 producto/1 servicio

$$F = 0,976 \quad (\text{ver anexo 1})$$

7. Cálculo del número de Reynolds (Re):

Se asume un número de placas para la sección de precalentamiento.

$$N_p = 7$$

$$N_{pt} = 5$$

$$N_s = 6$$

$$N_{s_f} = 3$$

$$N_{s_c} = 3$$

7.1 Diámetro equivalente (De):

$$De = \frac{4wb}{(2w + 2b)}$$

$$De = \frac{4 \times 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m}}{(2 \times 0,4 \text{ m}) + (2 \times 0,003 \text{ m})}$$

$$De = 0,00596 \text{ m}$$

7.2 Área de flujo frío (A_{ff}):

$$A_{ff} = w \times b \times \frac{Ns_f}{NP}$$

$$A_{ff} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{3}{1}$$

$$A_{ff} = 0,0036 \text{ m}^2$$

7.3 Área de flujo caliente (A_{fc}):

$$A_{fc} = w \times b \times \frac{Ns_c}{NP}$$

$$A_{fc} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{3}{1}$$

$$A_{fc} = 0,0036 \text{ m}^2$$

7.4 Velocidad másica del fluido frío (G_f):

$$G_f = \frac{\dot{m}_f}{A_{ff}}$$

$$G_f = \frac{4.680 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0036 \text{ m}^2} = 1.300.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.5 Velocidad másica del fluido caliente (G_c):

$$G_c = \frac{\dot{m}_c}{A_{fc}}$$

$$G_c = \frac{6.800 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0036 \text{ m}^2} = 1.888.888,89 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.6 Número de Reynolds (Re):

$$Re_f = \frac{De \times \frac{G_f}{Ns_f}}{\mu_f}$$

$$Re_f = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{1.300.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{3} \right)}{7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_f = 367,68$$

$$Re_c = \frac{De \times \frac{G_c}{Ns_c}}{\mu_c}$$

$$Re_c = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{1.888.888,89 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{3} \right)}{1,3130 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_c = 2.858,03$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{\text{Re}_f + \text{Re}_c}{2}$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{367,68 + 2.858,03}{2} = 1.612,86$$

8. Cálculo de los coeficientes de transferencia de calor (h):

8.1 Número de Prandtl (Pr):

$$\text{Pr}_f = \frac{\text{Cp}_f \times \mu_f}{k_f}$$

$$\text{Pr}_f = \frac{3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times 7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,1466 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}}}$$

$$\text{Pr}_f = 12,54$$

$$\text{Pr}_c = \frac{\text{Cp}_c \times \mu_c}{k_c}$$

$$\text{Pr}_c = \frac{4,192 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times 1,3130 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,4191 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}}}$$

$$\text{Pr}_c = 2,28$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{\text{Pr}_f + \text{Pr}_c}{2}$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{12,54 + 2,28}{2} = 7,41$$

8.2 Coeficiente de transferencia de calor (h):

Para $Re > 400$ (flujo turbulento):

$$h_f = 0,2536 \times \frac{k_f}{De} \times (Re_{prom})^{0,65} \times (Pr_{prom})^{0,40}$$

$$h_f = 0,2536 \times \frac{2,1466 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}{0,00596 \text{ m}} \times (1.612,86)^{0,65} \times (7,41)^{0,40}$$

$$h_f = 24.746,8106 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 0,2536 \times \frac{k_c}{De} \times (Re_{prom})^{0,65} \times (Pr_{prom})^{0,40}$$

$$h_c = 0,2536 \times \frac{2,4191 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}{0,00596 \text{ m}} \times (1.612,86)^{0,65} \times (7,41)^{0,40}$$

$$h_c = 27.888,2929 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

9. Cálculo del coeficiente global promedio de transferencia de calor (U_{prom}):

$$U_{prom} = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_c} + df_f + df_c}$$

$$U_{prom} = \frac{1}{\frac{1}{24.746,8106 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{27.888,2929 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + 0,96 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}} + 1,67 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}}}$$

$$U_{\text{prom}} = 10.103,5724 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

10. Cálculo del área total de transferencia de calor (A_t):

$$A_t = \frac{q}{U_{\text{prom}} \times (\Delta T)_{\text{lm}} \times F}$$

$$A_t = \frac{717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{10.103,5724 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} \times 31,85^\circ\text{C} \times 0,976}$$

$$A_t = 2,28 \text{ m}^2$$

11. Cálculo del número de placas térmicas (N_{pt}):

$$N_{\text{pt}} = \frac{A_t}{A_p}$$

$$N_{\text{pt}} = \frac{2,28 \text{ m}^2}{0,56 \text{ m}^2} = 4,07 \cong 4$$

$$N_p = N_{\text{pt}} + 2$$

$$N_p = 4 + 2 = 6$$

Debido a que los resultados no coinciden con los asumidos en el paso 7 se reitera el proceso desde dicho paso en adelante.

7. Cálculo del número de Reynolds (Re):

$$N_p = 6$$

$$N_{pt} = 4$$

$$N_s = 5$$

$$N_{s_f} = 2$$

$$N_{s_c} = 3$$

7.1 Diámetro equivalente (De):

$$De = \frac{4wb}{(2w + 2b)}$$

$$De = \frac{4 \times 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m}}{(2 \times 0,4 \text{ m}) + (2 \times 0,003 \text{ m})}$$

$$De = 0,00596 \text{ m}$$

7.2 Área de flujo frío (A_{ff}):

$$A_{ff} = w \times b \times \frac{N_{s_f}}{NP}$$

$$A_{ff} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{2}{1}$$

$$A_{ff} = 0,0024 \text{ m}^2$$

7.3 Área de flujo caliente (A_{fc}):

$$A_{fc} = w \times b \times \frac{N_{s_c}}{NP}$$

$$A_{fc} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{3}{1}$$

$$A_{fc} = 0,0036 \text{ m}^2$$

7.4 Velocidad másica del fluido frío (G_f):

$$G_f = \frac{\dot{m}_f}{A_{ff}}$$

$$G_f = \frac{4.680 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0024 \text{ m}^2} = 1.950.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.5 Velocidad másica del fluido caliente (G_c):

$$G_c = \frac{\dot{m}_c}{A_{fc}}$$

$$G_c = \frac{6.800 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0036 \text{ m}^2} = 1.888.888,89 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.6 Número de Reynolds (Re):

$$Re_f = \frac{De \times \frac{G_f}{Ns_f}}{\mu_f}$$

$$Re_f = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{1.950.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{2} \right)}{7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_f = 827,27$$

$$\text{Re}_c = \frac{\text{De} \times \frac{\text{G}_c}{\text{Ns}_c}}{\mu_c}$$

$$\text{Re}_c = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{1.888.888,89 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{3} \right)}{1,3130 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$\text{Re}_c = 2.858,03$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{\text{Re}_f + \text{Re}_c}{2}$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{827,27 + 2.858,03}{2} = 1.842,65$$

8. Cálculo de los coeficientes de transferencia de calor (h):

8.1 Número de Prandtl (Pr):

$$\text{Pr}_f = \frac{\text{Cp}_f \times \mu_f}{k_f}$$

$$\text{Pr}_f = \frac{3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times 7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,1466 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}}}$$

$$\text{Pr}_f = 12,54$$

$$\text{Pr}_c = \frac{Cp_c \times \mu_c}{k_c}$$

$$\text{Pr}_c = \frac{4,192 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 1,3130 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,4191 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$\text{Pr}_c = 2,28$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{\text{Pr}_f + \text{Pr}_c}{2}$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{12,54 + 2,28}{2} = 7,41$$

8.2 Coeficiente de transferencia de calor (h):

Para $\text{Re} > 400$ (flujo turbulento):

$$h_f = 0,2536 \times \frac{k_f}{\text{De}} \times (\text{Re}_{\text{prom}})^{0,65} \times (\text{Pr}_{\text{prom}})^{0,40}$$

$$h_f = 0,2536 \times \frac{2,1466 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}{0,00596 \text{ m}} \times (1.842,65)^{0,65} \times (7,41)^{0,40}$$

$$h_f = 26.984,8030 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 0,2536 \times \frac{k_c}{\text{De}} \times (\text{Re}_{\text{prom}})^{0,65} \times (\text{Pr}_{\text{prom}})^{0,40}$$

$$h_c = 0,2536 \times \frac{2,4191 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}{0,00596 \text{ m}} \times (1.842,65)^{0,65} \times (7,41)^{0,40}$$

$$h_c = 30.410,3870 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

9. Cálculo del coeficiente global promedio de transferencia de calor (U_{prom}):

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_c} + df_f + df_c}$$

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{26.984,8030 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{30.410,3870 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + 0,96 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}} + 1,67 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}}}$$

$$U_{\text{prom}} = 10.793,3429 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

10. Cálculo del área total de transferencia de calor (A_t):

$$A_t = \frac{q}{U_{\text{prom}} \times (\Delta T)_{\text{lm}} \times F}$$

$$A_t = \frac{717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{10.793,3429 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} \times 31,85^\circ\text{C} \times 0,976}$$

$$A_t = 2,14 \text{ m}^2$$

11. Cálculo del número de placas térmicas (N_{pt}):

$$N_{\text{pt}} = \frac{A_t}{A_p}$$

$$N_{pt} = \frac{2,14 \text{ m}^2}{0,56 \text{ m}^2} = 3,82 \cong 4$$

$$N_p = N_{pt} + 2$$

$$N_p = 4 + 2 = 6$$

Sección de Calentamiento.

<i>Propiedades físicas de los fluidos</i>			
<i>Fluido frío: Leche</i>		<i>Fluido caliente: Agua</i>	
T_{ef} (°C)	65	T_{ec} (°C)	90
T_{sf} (°C)	88	T_{sc} (°C)	?
$T_{prom f}$ (°C)	76,5	$T_{prom c}$ (°C)	?
Cp_f (kJ/kg·°C)	3,851	Cp_c (kJ/kg·°C)	4,196
ρ_f (kg/l)	1,034	ρ_c (kg/l)	1
Q_f (l/h)	4.500	Q_c (l/h)	6.800
\dot{m}_f (kg/h)	4.653	\dot{m}_c (kg/h)	6.800

1. Cálculo de la carga de calor (q):

$$q = \dot{m}_f \times Cp_f \times \Delta T_f$$

$$q = 4.653 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3,851 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (88 - 65)^\circ\text{C}$$

$$q = 412.130,169 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

2. Cálculo de la temperatura de salida y temperatura promedio del fluido caliente (T_{sc} , $T_{prom c}$):

$$T_{sc} = T_{ec} - \left(\frac{q}{\dot{m}_c \times Cp_c} \right)$$

$$T_{sc} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C} - \left(\frac{412.130,169 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{6.800 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 4,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}} \right)$$

$$T_{sc} = 75,56 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{prom c}} = \frac{T_{ec} + T_{sc}}{2}$$

$$T_{\text{prom c}} = \frac{(90 + 75,56) \text{ }^{\circ}\text{C}}{2} = 82,78 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. Cálculo de las propiedades físicas de los fluidos a la temperatura promedio:

<i>Leche</i>		<i>Agua</i>	
μ_f (kg/m·h)	5,4626	μ_c (kg/m·h)	1,2203
k_f (kJ/m·h·°C)	2,3252	k_c (kJ/m·h·°C)	2,4288
μ_{prom} (kg/m·h)	3,3415		

4. Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica $((\Delta T)_{lm})$:

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(T_{sc} - T_{ef}) - (T_{ec} - T_{sf})}{\ln\left(\frac{T_{sc} - T_{ef}}{T_{ec} - T_{sf}}\right)}$$

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(75,56 - 65) \text{ }^{\circ}\text{C} - (90 - 88) \text{ }^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{(75,56 - 65) \text{ }^{\circ}\text{C}}{(90 - 88) \text{ }^{\circ}\text{C}}\right)}$$

$$(\Delta T)_{lm} = 5,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

5. Cálculo del número de unidades de transferencia (NUT):

$$NUT = \frac{T_{sf} - T_{ef}}{(\Delta T)_{lm}}$$

$$NUT = \frac{(88 - 65)^{\circ}C}{5,14^{\circ}C} = 4,47$$

6. Determinación del factor de corrección de $(\Delta T)_{lm}$:

Configuración de flujo: 1 producto/1 servicio

$$F = 0,865 \quad (\text{ver anexo 1})$$

7. Cálculo del número de Reynolds (Re):

Se asume un número de placas para la sección de calentamiento.

$$N_p = 22$$

$$N_{pt} = 20$$

$$N_s = 21$$

$$N_{s_f} = 10$$

$$N_{s_c} = 11$$

7.1 Diámetro equivalente (De):

$$De = \frac{4wb}{(2w + 2b)}$$

$$De = \frac{4 \times 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m}}{(2 \times 0,4 \text{ m}) + (2 \times 0,003 \text{ m})}$$

$$De = 0,00596 \text{ m}$$

7.2 Área de flujo frío (A_{ff}):

$$A_{ff} = w \times b \times \frac{Ns_f}{NP}$$

$$A_{ff} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{10}{1}$$

$$A_{ff} = 0,012 \text{ m}^2$$

7.3 Área de flujo caliente (A_{fc}):

$$A_{fc} = w \times b \times \frac{Ns_c}{NP}$$

$$A_{fc} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{11}{1}$$

$$A_{fc} = 0,0132 \text{ m}^2$$

7.4 Velocidad másica del fluido frío (G_f):

$$G_f = \frac{\dot{m}_f}{A_{ff}}$$

$$G_f = \frac{4.653 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,012 \text{ m}^2} = 387.750 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.5 Velocidad másica del fluido caliente (G_c):

$$G_c = \frac{\dot{m}_c}{A_{fc}}$$

$$G_c = \frac{6.800 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0132 \text{ m}^2} = 515.151,52 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.6 Número de Reynolds (Re):

$$Re_f = \frac{De \times \frac{G_f}{Ns_f}}{\mu_f}$$

$$Re_f = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{387.750 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{10} \right)}{5,4626 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_f = 42,31$$

$$Re_c = \frac{De \times \frac{G_c}{Ns_c}}{\mu_c}$$

$$Re_c = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{515.151,52 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{11} \right)}{1,2203 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_c = 228,73$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{\text{Re}_f + \text{Re}_c}{2}$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{42,31 + 228,73}{2} = 135,52$$

8. Cálculo de los coeficientes de transferencia de calor (h):

8.1 Número de Prandtl (Pr):

$$\text{Pr}_f = \frac{\text{Cp}_f \times \mu_f}{k_f}$$

$$\text{Pr}_f = \frac{3,851 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 5,4626 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,3252 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$\text{Pr}_f = 9,05$$

$$\text{Pr}_c = \frac{\text{Cp}_c \times \mu_c}{k_c}$$

$$\text{Pr}_c = \frac{4,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 1,2203 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,4288 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$\text{Pr}_c = 2,11$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{\text{Pr}_f + \text{Pr}_c}{2}$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{9,05 + 2,11}{2} = 5,58$$

8.2 Cálculo de la temperatura de superficie (Ts):

Se asumen los siguientes parámetros:

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{T_{\text{prom c}} + T_{\text{prom f}}}{2}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{(82,78 + 76,5)^\circ\text{C}}{2} = 79,64^\circ\text{C}$$

$$h_f = 14.400 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 18.090 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

A partir de estos parámetros se calcula la temperatura de superficie.

$$\frac{q}{A} = \frac{\Delta T_{\text{prom}}}{\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_f}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{(82,78 - 76,5)^\circ\text{C}}{\frac{1}{18.090 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{14.400 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}}$$

$$\frac{q}{A} = 43.369,5938 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$T_{s_f} = T_{\text{prom c}} - \left[\frac{q}{A} \times \left(\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} \right) \right]$$

$$Ts_f = 82,78^\circ\text{C} - \left[43.369,5938 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \left(\frac{1}{18.090 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002 \text{ m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right) \right]$$

$$Ts_f = 79,51^\circ\text{C}$$

$$Ts_c = T_{\text{prom } c} - \left(\frac{q}{A} \times \frac{1}{h_c} \right)$$

$$Ts_c = 82,78^\circ\text{C} - \left(43.369,5938 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \frac{1}{18.090 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right)$$

$$Ts_c = 80,38^\circ\text{C}$$

$$Ts_{\text{prom}} = \frac{Ts_c + Ts_f}{2}$$

$$Ts_{\text{prom}} = \frac{(80,38 + 79,51)^\circ\text{C}}{2} = 79,95^\circ\text{C}$$

8.3 Coeficiente de transferencia de calor (h):

Para $Re < 400$ (flujo laminar):

$$h_f = 0,742 \times Cp_f \times G_f \times (Re_{\text{prom}})^{-0,62} \times (Pr_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu_{s_f}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_f} = 5,3133 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}} \quad (\text{Viscosidad a la } Ts_f)$$

$$h_f = 0,742 \times 3,851 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 387.750 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \times (135,52)^{-0,62} \times (5,58)^{-0,667} \times \left(\frac{3,3415 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{5,3133 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_f = 15.721,0994 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 0,742 \times C_{p_c} \times G_c \times (\text{Re}_{\text{prom}})^{-0,62} \times (\text{Pr}_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu_{s_c}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_c} = 1,2610 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}} \quad (\text{Viscosidad a la } T_{s_c})$$

$$h_c = 0,742 \times 4,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 515.151,52 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \times (135,52)^{-0,62} \times (5,58)^{-0,667} \times \left(\frac{3,3415 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{1,2610 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_c = 27.834,2132 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Dado que los resultados de coeficientes de transferencia de calor no coinciden con los asumidos, se debe reiterar el procedimiento a partir del paso 8.2.

Reiteración:

8.2 Cálculo de la temperatura de superficie (Ts):

$$h_f = 15.721,0994 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 27.834,2132 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{\Delta T_{\text{prom}}}{\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_f}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{(82,78 - 76,5)^\circ\text{C}}{\frac{1}{27.834,2132 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{15.721,0994 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}}$$

$$\frac{q}{A} = 52.502,1732 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$T_{s_f} = T_{\text{prom c}} - \left[\frac{q}{A} \times \left(\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} \right) \right]$$

$$T_{s_f} = 82,78^\circ\text{C} - \left[52.502,1732 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \left(\frac{1}{27.834,2132 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right) \right]$$

$$T_{s_f} = 79,84^\circ\text{C}$$

$$T_{s_c} = T_{\text{prom c}} - \left(\frac{q}{A} \times \frac{1}{h_c} \right)$$

$$T_{s_c} = 82,78^\circ\text{C} - \left(52.502,1732 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \frac{1}{27.834,2132 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right)$$

$$T_{s_c} = 80,89^\circ\text{C}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{T_{s_c} + T_{s_f}}{2}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{(80,89 + 79,84)^\circ\text{C}}{2} = 80,37^\circ\text{C}$$

8.3 Coeficiente de transferencia de calor (h):

$$h_f = 0,742 \times C_{p_f} \times G_f \times (\text{Re}_{\text{prom}})^{-0,62} \times (\text{Pr}_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu_{s_f}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_f} = 5,2970 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}} \quad (\text{Viscosidad a la } T_{s_f})$$

$$h_f = 0,742 \times 3,851 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 387,750 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times (135,52)^{-0,62} \times (5,58)^{-0,667} \times \left(\frac{3,3415 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{5,2970 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_f = 15,727,8633 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 0,742 \times C_{p_c} \times G_c \times (\text{Re}_{\text{prom}})^{-0,62} \times (\text{Pr}_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu_{s_c}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_c} = 1,2523 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}} \quad (\text{Viscosidad a la } T_{s_c})$$

$$h_c = 0,742 \times 4,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 515,151,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times (135,52)^{-0,62} \times (5,58)^{-0,667} \times \left(\frac{3,3415 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{1,2523 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_c = 27,861,2045 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

9. Cálculo del coeficiente global promedio de transferencia de calor (U_{prom}):

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_c} + df_f + df_c}$$

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{15.727,8633 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{27.861,204 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + 0,96 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}} + 1,67 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}}}$$

$$U_{\text{prom}} = 8.184,5159 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

10. Cálculo del área total de transferencia de calor (A_t):

$$A_t = \frac{q}{U_{\text{prom}} \times (\Delta T)_{\text{lm}} \times F}$$

$$A_t = \frac{412.130,169 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{8.184,5159 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} \times 5,14^\circ\text{C} \times 0,865}$$

$$A_t = 11,33 \text{ m}^2$$

11. Cálculo del número de placas térmicas (N_{pt}):

$$N_{\text{pt}} = \frac{A_t}{A_p}$$

$$N_{\text{pt}} = \frac{11,33 \text{ m}^2}{0,56 \text{ m}^2} = 20,23 \cong 20$$

$$N_p = N_{pt} + 2$$

$$N_p = 20 + 2 = 22$$

De acuerdo a los cálculos realizados el número de placas para el intercambiador de calor es de:

Número de placas en la sección de precalentamiento: 6 placas

Número de placas en la sección de calentamiento: 22 placas

Número de placas en total: 28 placas.

Los cálculos de diseño para este intercambiador se realizaron de forma tal que el nuevo equipo funcione igual que el de *Derivados Lácteos*, en lo referente a que utiliza en las dos secciones agua caliente (a 90 °C) como fluido calefactor. Sin embargo, los intercambiadores de placas permiten el ahorro de energía mediante la regeneración, por lo tanto, seguidamente se presentan los cálculos para un intercambiador con una etapa de regeneración. Con la sección de regeneración se aprovecharía el calor de la base pasteurizada para precalentar la mezcla base que va entrando al equipo, de esta manera se necesitaría menos vapor para calentar el agua y también se ahorraría el tiempo de enfriamiento, ya que la base saldría a una temperatura cercana a la temperatura de inoculación y no tendría que esperarse a que se enfríe en los tanques.

Sección de Regeneración.

Las especificaciones del equipo son las mismas que se establecieron anteriormente.

<i>Propiedades físicas de los fluidos</i>			
<i>Fluido frío: Leche</i>		<i>Fluido caliente: Leche</i>	
T_{ef} (°C)	25	T_{ec} (°C)	88
T_{sf} (°C)	65	T_{sc} (°C)	?
$T_{prom f}$ (°C)	45	$T_{prom c}$ (°C)	?
Cp_f (kJ/kg·°C)	3,831	Cp_c (kJ/kg·°C)	3,846
ρ_f (kg/l)	1,04	ρ_c (kg/l)	1,035
Q_f (l/h)	4.500	Q_c (l/h)	4.500
\dot{m}_f (kg/h)	4.680	\dot{m}_c (kg/h)	4.657,5

1. Cálculo de la carga de calor (q):

$$q = \dot{m}_f \times C_{p_f} \times \Delta T_f$$

$$q = 4.680 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times (65 - 25)^\circ \text{C}$$

$$q = 717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

2. Cálculo de la temperatura de salida y temperatura promedio del fluido caliente (T_{sc} , $T_{prom c}$):

$$T_{sc} = T_{ec} - \left(\frac{q}{\dot{m}_c \times C_{p_c}} \right)$$

$$T_{sc} = 88^\circ \text{C} - \left(\frac{717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{4.657,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3,846 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}}} \right)$$

$$T_{sc} = 47,96^\circ \text{C}$$

$$T_{prom c} = \frac{T_{ec} + T_{sc}}{2}$$

$$T_{prom c} = \frac{(88 + 47,96)^\circ \text{C}}{2} = 67,98^\circ \text{C}$$

3. Cálculo de las propiedades físicas de los fluidos a la temperatura promedio:

<i>Leche</i>		<i>Leche</i>	
μ_f (kg/m·h)	7,0243	μ_c (kg/m·h)	5,8850
k_f (kJ/m·h·°C)	2,1466	k_c (kJ/m·h·°C)	2,2769
μ_{prom} (kg/m·h)	6,4547		

4. Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica $(\Delta T)_{lm}$:

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(T_{sc} - T_{ef}) - (T_{ec} - T_{sf})}{\ln\left(\frac{T_{sc} - T_{ef}}{T_{ec} - T_{sf}}\right)}$$

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(47,96 - 25)^\circ\text{C} - (88 - 65)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{(47,96 - 25)^\circ\text{C}}{(88 - 65)^\circ\text{C}}\right)}$$

$$(\Delta T)_{lm} = 22,98^\circ\text{C}$$

5. Cálculo del número de unidades de transferencia (NUT):

$$\text{NUT} = \frac{T_{sf} - T_{ef}}{(\Delta T)_{lm}}$$

$$\text{NUT} = \frac{(65 - 25)^\circ\text{C}}{22,98^\circ\text{C}} = 1,74$$

6. Determinación del factor de corrección de $(\Delta T)_{lm}$:

Configuración de flujo: 1 producto/1 servicio

$$F = 0,958 \quad (\text{ver anexo 1})$$

7. Cálculo del número de Reynolds (Re):

Se asume un número de placas para la sección.

$$N_p = 8$$

$$N_{pt} = 6$$

$$N_s = 7$$

$$N_{sf} = 4$$

$$N_{sc} = 3$$

7.1. Diámetro equivalente (De):

$$De = \frac{4wb}{(2w + 2b)}$$

$$De = \frac{4 \times 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m}}{(2 \times 0,4 \text{ m}) + (2 \times 0,003 \text{ m})}$$

$$De = 0,00596 \text{ m}$$

7.2 Área de flujo frío (A_{ff}):

$$A_{ff} = w \times b \times \frac{Ns_f}{NP}$$

$$A_{ff} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{4}{1}$$

$$A_{ff} = 0,0048 \text{ m}^2$$

7.3 Área de flujo caliente (A_{fc}):

$$A_{fc} = w \times b \times \frac{Ns_c}{NP}$$

$$A_{fc} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{3}{1}$$

$$A_{fc} = 0,0036 \text{ m}^2$$

7.4 Velocidad másica del fluido frío (G_f):

$$G_f = \frac{\dot{m}_f}{A_{ff}}$$

$$G_f = \frac{4.680 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0048 \text{ m}^2} = 975.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.5 Velocidad másica del fluido caliente (G_c):

$$G_c = \frac{\dot{m}_c}{A_{fc}}$$

$$G_c = \frac{4.657,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0036 \text{ m}^2} = 1.293.750 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.6 Número de Reynolds (Re):

$$Re_f = \frac{De \times \frac{G_f}{Ns_f}}{\mu_f}$$

$$Re_f = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{975.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{4} \right)}{7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_f = 206,82$$

$$Re_c = \frac{De \times \frac{G_c}{Ns_c}}{\mu_c}$$

$$\text{Re}_c = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{1.293.750 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{3} \right)}{5,8850 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$\text{Re}_c = 436,75$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{\text{Re}_f + \text{Re}_c}{2}$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{206,82 + 436,75}{2} = 321,79$$

8. Cálculo de los coeficientes de transferencia de calor (h):

8.1 Número de Prandtl (Pr):

$$\text{Pr}_f = \frac{\text{Cp}_f \times \mu_f}{k_f}$$

$$\text{Pr}_f = \frac{3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times 7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,1466 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}}}$$

$$\text{Pr}_f = 12,54$$

$$\text{Pr}_c = \frac{\text{Cp}_c \times \mu_c}{k_c}$$

$$\text{Pr}_c = \frac{3,846 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 5,8850 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{2,2769 \frac{\text{kJ}}{\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}}$$

$$\text{Pr}_c = 9,94$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{\text{Pr}_f + \text{Pr}_c}{2}$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{12,54 + 9,94}{2} = 11,24$$

8.2 Cálculo de la temperatura de superficie (Ts):

Se asumen los siguientes parámetros:

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{T_{\text{prom c}} + T_{\text{prom f}}}{2}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{(67,98 + 45)^\circ\text{C}}{2} = 56,49^\circ\text{C}$$

$$h_f = 15.120 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 18.720 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}$$

A partir de estos parámetros se calcula la temperatura de superficie.

$$\frac{q}{A} = \frac{\Delta T_{\text{prom}}}{\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_f}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{(67,98 - 45)^\circ\text{C}}{\frac{1}{18.720 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{15.120 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}}$$

$$\frac{q}{A} = 164.572,3028 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$T_{s_f} = T_{\text{prom } c} - \left[\frac{q}{A} \times \left(\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} \right) \right]$$

$$T_{s_f} = 67,98^\circ\text{C} - \left[164.572,3028 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \left(\frac{1}{18.720 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right) \right]$$

$$T_{s_f} = 55,88^\circ\text{C}$$

$$T_{s_c} = T_{\text{prom } c} - \left(\frac{q}{A} \times \frac{1}{h_c} \right)$$

$$T_{s_c} = 67,98 - \left(164.572,3028 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \frac{1}{18.720 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right)$$

$$T_{s_c} = 59,19^\circ\text{C}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{T_{s_c} + T_{s_f}}{2}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{(59,19 + 55,88)^\circ\text{C}}{2} = 57,54^\circ\text{C}$$

8.3 Coeficiente de transferencia de calor (h):

Para $Re < 400$ (flujo laminar):

$$h_f = 0,742 \times C_{p_f} \times G_f \times (Re_{prom})^{-0,62} \times (Pr_{prom})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{prom}}{\mu_{s_f}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_f} = 6,4849 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}$$

$$h_f = 0,742 \times 3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 975.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times (321,79)^{-0,62} \times (11,24)^{-0,667} \times \left(\frac{6,4547 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{6,4849 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_f = 15.377,3237 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 0,742 \times C_{p_c} \times G_c \times (Re_{prom})^{-0,62} \times (Pr_{prom})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{prom}}{\mu_{s_c}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_c} = 6,3208 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}$$

$$h_c = 0,742 \times 3,846 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 1.293.750 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times (321,79)^{-0,62} \times (11,24)^{-0,667} \times \left(\frac{6,4547 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{6,3208 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_c = 20.558,0540 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}$$

Dado que los resultados de coeficientes de transferencia de calor no coinciden con los asumidos, se debe reiterar el procedimiento a partir del paso 8.2.

Reiteración:

8.2 Cálculo de la temperatura de superficie (Ts):

$$h_f = 15.377,3237 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 20.558,0540 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{\Delta T_{\text{prom}}}{\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_f}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{(67,98 - 45)^\circ\text{C}}{\frac{1}{20.558,0540 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{15.377,3237 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}}}$$

$$\frac{q}{A} = 171.810,6901 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$T_{s_f} = T_{\text{prom c}} - \left[\frac{q}{A} \times \left(\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_{ac}} \right) \right]$$

$$T_{s_f} = 67,98^\circ\text{C} - \left[171.810,6901 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \left(\frac{1}{20.558,0540 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right) \right]$$

$$T_{s_f} = 56,17^\circ\text{C}$$

$$T_{s_c} = T_{\text{prom } c} - \left(\frac{q}{A} \times \frac{1}{h_c} \right)$$

$$T_{s_c} = 67,98^\circ\text{C} - \left(171.810,6901 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \frac{1}{20.558,0540 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} \right)$$

$$T_{s_c} = 59,62^\circ\text{C}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{T_{s_c} + T_{s_f}}{2}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = \frac{(59,62 + 56,17)^\circ\text{C}}{2} = 57,90^\circ\text{C}$$

8.3 Coeficiente de transferencia de calor (h):

$$h_f = 0,742 \times C_{p_f} \times G_f \times (\text{Re}_{\text{prom}})^{-0,62} \times (\text{Pr}_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu_{s_f}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_f} = 6,4705 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}$$

$$h_f = 0,742 \times 3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 9750.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \times (321,79)^{-0,62} \times (11,24)^{-0,667} \times \left(\frac{6,4547 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{6,4705 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_f = 15.382,1102 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 0,742 \times C_{p_c} \times G_c \times (\text{Re}_{\text{prom}})^{-0,62} \times (\text{Pr}_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu_{s_c}} \right)^{0,14}$$

$$\mu_{s_c} = 6,2995 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}$$

$$h_c = 0,742 \times 3,846 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 1.293.750 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times (321,79)^{-0,62} \times (11,24)^{-0,667} \times \left(\frac{6,4547 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{6,2995 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_c = 20.567,7715 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}$$

9. Cálculo del coeficiente global promedio de transferencia de calor (U_{prom}):

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_c} + df_f + df_c}$$

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{15.382,1102 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}} + \frac{1}{20.567,7715 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}} + 1,67 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}{\text{kJ}} + 0,96 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}{\text{kJ}}}$$

$$U_{\text{prom}} = 7.334,6775 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}$$

10. Cálculo del área total de transferencia de calor (A_t):

$$A_t = \frac{q}{U_{\text{prom}} \times (\Delta T)_{lm} \times F}$$

$$A_t = \frac{717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{7.334,6775 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}} \times 22,98^\circ\text{C} \times 0,958}$$

$$A_t = 4,44 \text{ m}^2$$

11. Cálculo del número de placas térmicas (N_{pt}):

$$N_{pt} = \frac{A_t}{A_p}$$

$$N_{pt} = \frac{4,44 \text{ m}^2}{0,56 \text{ m}^2} = 7,93 \cong 8$$

$$N_p = N_{pt} + 2$$

$$N_p = 8 + 2 = 10$$

Debido a que los resultados no coinciden con los asumidos en el paso 7 se reitera el proceso desde dicho paso en adelante.

7. Cálculo del número de Reynolds (Re):

$$N_p = 9$$

$$N_{pt} = 7$$

$$N_s = 8$$

$$N_{s_f} = 4$$

$$N_{s_c} = 4$$

7.1 Diámetro equivalente (De):

$$De = \frac{4wb}{(2w + 2b)}$$

$$De = \frac{4 \times 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m}}{(2 \times 0,4 \text{ m}) + (2 \times 0,003 \text{ m})}$$

$$De = 0,00596 \text{ m}$$

7.2 Área de flujo frío (A_{ff}):

$$A_{ff} = w \times b \times \frac{Ns_f}{NP}$$

$$A_{ff} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{4}{1}$$

$$A_{ff} = 0,0048 \text{ m}^2$$

7.3 Área de flujo caliente (A_{fc}):

$$A_{fc} = w \times b \times \frac{Ns_c}{NP}$$

$$A_{fc} = 0,4 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times \frac{4}{1}$$

$$A_{fc} = 0,0048 \text{ m}^2$$

7.4 Velocidad másica del fluido frío (G_f):

$$G_f = \frac{\dot{m}_f}{A_{ff}}$$

$$G_f = \frac{4.680 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0048 \text{ m}^2} = 975.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.5 Velocidad másica del fluido caliente (G_c):

$$G_c = \frac{\dot{m}_c}{A_{fc}}$$

$$G_c = \frac{4.657,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0048 \text{ m}^2} = 970.312,5 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

7.6 Número de Reynolds (Re):

$$Re_f = \frac{De \times \frac{G_f}{Ns_f}}{\mu_f}$$

$$Re_f = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{975.000 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{4} \right)}{7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_f = 206,82$$

$$Re_c = \frac{De \times \frac{G_c}{Ns_c}}{\mu_c}$$

$$Re_c = \frac{0,00596 \text{ m} \times \left(\frac{970.312,5 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}}{4} \right)}{5,8850 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}$$

$$Re_c = 245,67$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{\text{Re}_f + \text{Re}_c}{2}$$

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{206,82 + 245,67}{2} = 226,25$$

8. Cálculo de los coeficientes de transferencia de calor (h):

8.1 Número de Prandtl (Pr):

$$\text{Pr}_f = \frac{\text{Cp}_f \times \mu_f}{k_f}$$

$$\text{Pr}_f = \frac{3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times 7,0243 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,1466 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}}}$$

$$\text{Pr}_f = 12,54$$

$$\text{Pr}_c = \frac{\text{Cp}_c \times \mu_c}{k_c}$$

$$\text{Pr}_c = \frac{3,846 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \times 5,8850 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2,2769 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}}}$$

$$\text{Pr}_c = 9,94$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{\text{Pr}_f + \text{Pr}_c}{2}$$

$$\text{Pr}_{\text{prom}} = \frac{12,54 + 9,94}{2} = 11,24$$

8.2 Cálculo de la temperatura de superficie (Ts):

$$Ts_f = 56,17^\circ\text{C}$$

$$Ts_c = 59,62^\circ\text{C}$$

$$Ts_{\text{prom}} = \frac{(59,62 + 56,17)^\circ\text{C}}{2} = 57,90^\circ\text{C}$$

8.3 Coeficiente de transferencia de calor (h):

$$h_f = 0,742 \times Cp_f \times G_f \times (Re_{\text{prom}})^{-0,62} \times (Pr_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu S_f} \right)^{0,14}$$

$$\mu S_f = 6,4705 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}$$

$$h_f = 0,742 \times 3,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 975.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times (226,25)^{-0,62} \times (11,24)^{-0,667} \times \left(\frac{6,4547 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{6,4705 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_f = 19.136,6525 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 0,742 \times Cp_c \times G_c \times (Re_{\text{prom}})^{-0,62} \times (Pr_{\text{prom}})^{-0,667} \times \left(\frac{\mu_{\text{prom}}}{\mu S_c} \right)^{0,14}$$

$$\mu S_c = 6,2995 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}$$

$$h_c = 0,742 \times 3,846 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \times 970.312,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times (226,25)^{-0,62} \times (11,24)^{-0,667} \times \left(\frac{6,4547 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}}{6,2995 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{h}}} \right)^{0,14}$$

$$h_c = 19.191,0420 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

9. Cálculo del coeficiente global promedio de transferencia de calor (U_{prom}):

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{e_p}{k_{ac}} + \frac{1}{h_c} + df_f + df_c}$$

$$U_{\text{prom}} = \frac{1}{\frac{1}{19.136,6525 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{0,002\text{m}}{99,61 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{19.191,0420 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}} + 1,67 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}} + 0,96 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kJ}}}$$

$$U_{\text{prom}} = 7.869,5733 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

10. Cálculo del área total de transferencia de calor (A_t):

$$A_t = \frac{q}{U_{\text{prom}} \times (\Delta T)_{\text{lm}} \times F}$$

$$A_t = \frac{717.163,2 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{7.869,5733 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} \times 22,98^\circ\text{C} \times 0,958}$$

$$A_t = 4,14 \text{ m}^2$$

11. Cálculo del número de placas térmicas (N_{pt}):

$$N_{\text{pt}} = \frac{A_t}{A_p}$$

$$N_{pt} = \frac{4,14 \text{ m}^2}{0,56 \text{ m}^2} = 7,39 \cong 7$$

$$N_p = N_{pt} + 2$$

$$N_p = 7 + 2 = 9$$

Sección de Calentamiento.

Esta sección es igual a la sección de calentamiento calculada anteriormente por lo que los resultados son los mismos.

<i>Propiedades físicas de los fluidos</i>			
<i>Fluido frío: Leche</i>		<i>Fluido caliente: Agua</i>	
T_{ef} (°C)	65	T_{ec} (°C)	90
T_{sf} (°C)	88	T_{sc} (°C)	?
$T_{prom f}$ (°C)	76,5	$T_{prom c}$ (°C)	?
Cp_f (kJ/kg·°C)	3,851	Cp_c (kJ/kg·°C)	4,196
ρ_f (kg/l)	1,034	ρ_c (kg/l)	1
Q_f (l/h)	4.500	Q_c (l/h)	6.800
\dot{m}_f (kg/h)	4.653	\dot{m}_c (kg/h)	6.800

1. Carga de calor (q):

$$q = 412.130,16 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

2. Temperatura de salida y temperatura promedio del fluido caliente ($T_{sc}, T_{prom c}$):

$$T_{sc} = 75,56 \text{ °C}$$

$$T_{prom c} = 82,78 \text{ °C}$$

3. Propiedades físicas de los fluidos a la temperatura promedio:

<i>Leche</i>		<i>Agua</i>	
μ_f (kg/m·h)	5,4626	μ_c (kg/m·h)	1,2203
k_f (kJ/m·h·°C)	2,3252	k_c (kJ/m·h·°C)	2,4288
μ_{prom} (kg/m·h)	3,3415		

4. Diferencia de temperatura media logarítmica $(\Delta T)_{lm}$:

$$(\Delta T)_{lm} = 5,14^\circ\text{C}$$

5. Número de unidades de transferencia (NUT):

$$\text{NUT} = 4,47$$

6. Factor de corrección de $(\Delta T)_{lm}$:

Configuración de flujo: 1 producto/1 servicio

$$F = 0,865 \quad (\text{ver anexo 1})$$

7. Número de Reynolds (Re):

Se asume un número de placas para la sección.

$$N_p = 22$$

$$N_{pt} = 20$$

$$N_s = 21$$

$$N_{s_f} = 10$$

$$N_{s_c} = 11$$

7.1 Diámetro equivalente (De):

$$De = 0,00596 \text{ m}$$

7.2 Área de flujo frío (A_{ff}):

$$A_{ff} = 0,012 \text{ m}^2$$

7.3 Área de flujo caliente (A_{fc}):

$$A_{fc} = 0,0132 \text{ m}^2$$

7.4 Velocidad másica del fluido frío (G_f):

$$G_f = 387.750 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2}$$

7.5 Velocidad másica del fluido caliente (G_c):

$$G_c = 515.151,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}\cdot\text{m}^2}$$

7.6 Número de Reynolds (Re):

$$Re_f = 42,31$$

$$Re_c = 228,73$$

$$Re_{\text{prom}} = 135,52$$

8. Coeficientes de transferencia de calor (h):

8.1 Número de Prandtl (Pr):

$$Pr_f = 9,05$$

$$Pr_c = 2,11$$

$$Pr_{\text{prom}} = 5,58$$

8.2 Temperatura de superficie (Ts):

$$T_{s_f} = 79,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s_c} = 80,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s_{\text{prom}}} = 80,37 \text{ }^\circ\text{C}$$

8.3 Coeficiente de transferencia de calor (h):

$$h_f = 15.727,8633 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$h_c = 27.861,2045 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

9. Coeficiente global promedio de transferencia de calor (U_{prom}):

$$U_{\text{prom}} = 8.184,5159 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

10. Área total de transferencia de calor (A_t):

$$A_t = 11,33 \text{ m}^2$$

11. Número de placas térmicas (N_{pt}):

$$N_{\text{pt}} = 20$$

$$N_p = 22$$

De acuerdo a los resultados obtenidos el número de placas para el intercambiador de calor de placas con una sección de regeneración es de:

Número de placas en la sección de regeneración: 9 placas

Número de placas en la sección de calentamiento: 22 placas

Número de placas en total: 31 placas.

El porcentaje de regeneración obtenido es de 63,49 %, lo cual significa que la base del yogurt se calentaría un 63,49 % de lo que debe hacerlo hasta su temperatura de pasteurización sin necesidad de usar vapor.

El área de *Yogurt Firme* tarda 15 minutos en pasteurizar un batch en el intercambiador de placas de *Derivados Lácteos* y 25 minutos en enfriar la base en los tanques desde 88 °C hasta 43 °C, mientras que en el pasteurizador calculado la base tardaría 20 minutos en pasteurizarse y enfriarse, ahorrándose 20 minutos.

5.4. PRESUPUESTO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS EN LA LÍNEA TECNOLÓGICA DEL ÁREA DE YOGURT FIRME.

Tabla 5.2. Costo de los equipos.

Equipos	Costo en Bs. F.
Sistema de pasteurización con capacidad para 4,500 l/h. Marca PIETRIBIASI, de fabricación italiana.	88.073,01
Homogeneizador modelo FBF 037. Capacidad de 4,500 l/h con presión máxima de trabajo de 250 bar (3.625,37 psia).	126.732,12
Total	214.805,13

Fuentes: VIGUSA y ADINOX S.A., 2008.

Las características de cada uno de estos equipos se nombran a continuación:

Sistema de pasteurización.

Este sistema de pasteurización es fabricado por la empresa VIGUSA e incluye:

- Un tanque de balance cilíndrico vertical para manejar un flujo constante durante la fase de proceso y limpieza CIP (circuito cerrado), fabricado totalmente en acero inoxidable norma AISI 304.

Capacidad: 100 litros.

Media tapa para facilitar la inspección.

Conexión DN50 para entrada de leche.

Sensor para mantener nivel constante de leche.

- b) Una bomba centrífuga sanitaria para la transferencia de la leche y de soluciones de limpieza al intercambiador de placas.

Capacidad: 4,500 l/h.

Impulsor fabricado en acero inoxidable AISI 316.

Cubierta en acero inoxidable AISI 304.

Fácil desarmado para inspección o mantenimiento.

Sellos mecánicos del tipo ROTEN.

Con protección para motor.

Motor para operar a 220V, 3F, 60HZ.

Filtro doble, para filtrar el producto antes de que entre a la línea de pasteurización y de esta forma garantizar un producto libre de impurezas.

- c) Un medidor de flujo de alta precisión, completo con válvula reguladora de flujo. Fabricación en acero inoxidable.

- d) Un intercambiador de calor de placas Mod. SP 17 para pasteurización de 4,500 l/h de leche destinada a yogurt con el siguiente ciclo térmico:

Ciclo térmico: 25-63-88-47° C.

Empaques en nitrilo tipo SNAP IN.

Marco en soporte de acero inoxidable AISI 304 compacto.

Tres soportes ajustables.

Llave de servicio.

- e) Un soporte tubular para el sostenimiento de la temperatura de pasteurización.

Fabricado en acero inoxidable norma AISI 304.

Tiempo de sostenimiento: 15 segundos.

- f) Una válvula neumática de desviación de flujo fabricada en acero inoxidable norma AISI 304. Válvula de tres vías ON/OFF sanitaria. Apta para la desviación automática al tanque de balance del producto que no ha sido pasteurizado correctamente.

- g) Una unidad de producción y circulación de agua caliente tipo cerrada. Incluye:

Intercambiador soldado (vapor / agua).

Válvula automática.

Válvula de seguridad.

Manómetro.

Trampa para vapor, accionamiento manual.

Válvula neumática moduladora de vapor

Bomba centrífuga para la circulación de agua caliente, fabricada completamente en acero inoxidable AISI 304, con protección para motor a 220V, 3F, 60HZ.

h) Panel de controles en acero inoxidable AISI 304. Incluye:

Registrador electrónico para registrar la temperatura de pasteurización y de salida del producto.

Sensor PT100 para la temperatura de pasteurización.

Reductor - estabilizador de presión de aire para válvula de vapor y válvula de 3 vías.

Botones de inicio / paro para protección IP55 de cada uno de los motores del grupo.

Botón de alarma.

Alarma visual y acústica para la desviación del producto.

i) Juego de conexiones sanitarias para todos los componentes del grupo, incluye conexiones de soporte para el circuito de producto, vapor y fluidos auxiliares.

j) Soporte tubular en acero inoxidable, sobre el cual estarán montados e interconectados entre sí todos los componentes del grupo.

Homogeneizador.

El homogeneizador modelo FBF 037, es fabricado por la empresa ADINOX S.A. y sus características son:

- a) Capacidad de 4,500 l/h con presión máxima de trabajo de 250 bar (3.625,37 psia).
Etapas de homogeneización: 2 etapas.
Motor 37 Kw. – 220V – 60Hz – 3 fases.
- b) Cabeza de compresión construida desde un bloque único en acero inoxidable AISI 316 forjado de tipo especial.
- c) Grupo aceite-neumático para el control de la presión de homogeneización.
- d) Válvulas homogeneizantes en material especial a elevada resistencia al desgaste.
- e) Válvula de sobre presión en la cabeza, de fácil substitución, de tipo con resorte.
- f) Incluye manómetro digital.
- g) Grupo neumático para el control automático de las funciones de entrada aire/agua.
- h) Grupo caudal variable incorporado.

- i) Sistema de lubricación de tipo presurizado con presostato de seguridad. Control de la presión y del nivel de aceite por medio de instrumentos colocados en el lado frontal de la maquina.
- j) Grupo hidráulico para el enfriamiento del aceite de lubricación y de los pistones bombeantes.
- k) Estructura fabricada con bastidor cuadro en acero barnizado y recubierto de paneles desmontables de acero inoxidable AISI 304 satinado.
- l) Incluye presostato de seguridad automático.

El equipo esta provisto con un tablero de mando con botones de mando y control comprensivo de selectores, regulador de la presión de homogeneización, pulsantes de arranque/parada, luces de emergencia, dispositivos de seguridad y caja de derivación (motores eléctricos, tablero de mando y electro-válvulas) en acero barnizado.

Como se dijo anteriormente en el apartado 5.2, los ingresos que la empresa está dejando de obtener en el área de *Yogurt Firme*, por no contar con un pasteurizador y un homogeneizador en su línea tecnológica, es de 1.162.800 Bs. F. al mes; por lo tanto, al comparar ésta cantidad con el presupuesto presentado se puede inferir que resultaría factible para la empresa el adquirir esos equipos.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES:

- La Empresa Nacional Lácteos Los Andes (ENLANDES) es una de las empresas lácteas más prestigiosas del país, la misma está capacitada para cubrir aproximadamente el 40% del consumo lácteo nacional, ésta empresa ofrece una variedad de productos de alta calidad y de gran aceptación en la población, siendo el yogurt (en todas sus presentaciones) uno de los principales productos que comercializa y que aumenta su demanda cada día.
- La falta de un equipo pasteurizador y de un homogenizador en la línea tecnológica del área de *Yogurt Firme* de la Empresa Nacional Lácteos Los Andes, trae como consecuencia una disminución de la capacidad de producción tanto de ésta área, así como la del área de *Derivados Lácteos*, y por ende, esto afecta a la empresa en general, ya que al disminuir la producción de ambas áreas se ven disminuidos los ingresos de la empresa.
- Los tiempos de parada, que ocurren en un turno de trabajo (8 horas), en el área de *Yogurt Firme* debidos a la situación mencionada en el párrafo anterior, son de aproximadamente 38 minutos. Con los 38 minutos de parada que tiene *Yogurt Firme* se dejan de producir 317 bandejas (7.608 envases) que representan 12.920 Bs. F. con yogures de 130 gramos y 15.960 Bs. F. con yogures de 180 gramos. Hay que tomar en cuenta, que estos 38 minutos de parada son en un solo turno de trabajo y la empresa opera con 3 turnos de trabajo, por lo que se puede estimar que los tiempos de parada diarios en el área, son de 114 minutos.
- De acuerdo a los cálculos realizados para el diseño del pasteurizador de *Yogurt Firme* con una etapa de regeneración, se obtuvo un número de 9 placas para la sección de regeneración y 22 placas en la sección de calentamiento.
- Con un pasteurizador que tenga una etapa de regeneración, se estaría ahorrando el tiempo de enfriamiento de la base del yogurt, ya que *Yogurt Firme* tarda 15 minutos en pasteurizar un batch en el intercambiador de placas de *Derivados Lácteos* y 25 minutos en enfriar la base en los tanques desde 88 °C hasta 43 °C, mientras que en el pasteurizador con una etapa de regeneración, la base tardaría 20 minutos en pasteurizarse y enfriarse, ahorrándose 20 minutos.

6.2. RECOMENDACIONES:

- Debido al aumento en la demanda del yogurt en sus diferentes presentaciones, y en particular al yogurt *Los Andes*, se recomienda a la Empresa Nacional Lácteos Los Andes, adquirir un intercambiador de calor de placas y un homogeneizador para instalarlos en la línea del área de *Yogurt Firme*, logrando así aumentar la producción y los ingresos en la empresa.
- Tomar como modelo para el nuevo intercambiador de calor de placas el calculado en éste trabajo, así como también tener en cuenta el presupuesto presentado para el intercambiador de calor y el homogeneizador, al momento de comprar estos equipos, ya que de acuerdo a este presupuesto, la inversión actual que haría la empresa adquiriendo los equipos sería de 214.805,13 Bs. F. y se puede inferir que dicho capital invertido se recuperaría en poco tiempo.
- Dado que la producción en el área de *Yogurt Firme* aumentará con la instalación del equipo de pasteurización y del homogeneizador en su línea de proceso, se sugiere que la empresa adquiera posteriormente otros tanques para el área y/o una nueva máquina de envasado, todo esto con el fin de incrementar la producción del área y de contribuir al crecimiento de la empresa.
- Realizar el arreglo de la sección de enfriamiento en el pasteurizador de *Derivados Lácteos*, lo cual disminuiría el tiempo de enfriamiento de la base del yogurt y se podría aumentar la producción en ésta área. El enfriamiento de la base en los tanques tarda entre 45 y 80 minutos dependiendo de la cantidad de base; mientras que si se pone en funcionamiento la sección de enfriamiento del equipo, la base tardaría entre la pasteurización y enfriamiento, sólo 27 ó 45 minutos dependiendo del volumen manejado.

BIBLIOGRAFÍA

- ADINOX S.A. (2008). [Página web en línea]. Disponible en: www.adinox-adipack.com
- ALAIS, Ch. (1985). *Ciencia de la leche. Principios de técnica lechera*. España: Reverté, S.A.
- BARRIOS, R. (1989). *Fundamentos de secado de productos agrícolas*. Trabajo de ascenso. Universidad de Los Andes. Trujillo, Venezuela.
- BENITEZ, J. (2002). *Estudio de las diferentes fases de aplicación de la tecnología para la elaboración de queso de mano, producido por la empresa Productos Lácteos "Flor de Aragua"*. Trabajo de grado. Universidad de Los Andes. Trujillo, Venezuela.
- CAVILAC. (2007). [Página web en línea]. Disponible en: www.cavilac.org
- COVENIN 2393-01. (2001). [Documento en línea]. Disponible en: www.sencamer.gob.ve/sencamer/action/normas-filter
- Enciclopedia Agropecuaria. (2001). *Ingeniería y Agroindustria* (Segunda edición). Tomo V. Colombia: Terranova.
- GARCÍA, L. y Olmo, V. (2008). *Proceso de elaboración del yogur* [Documento en línea]. Disponible en: www.ice-upc.es/documents/eso/aliments/HTML/lácteo
- GARIJO, R.; Kimmich, R. y Nasanovsky, M. (2001). *Lechería* [Libro en línea]. Disponible en: [www.hipótesis.com.ar/hipótesis/Agosto 2001/Catedras/Lechería](http://www.hipótesis.com.ar/hipótesis/Agosto%202001/Catedras/Lechería)
- JIMÉNEZ, S. (2007). A comer yogurt. *Producto* [Revista en línea], edición 272. Disponible en: www.producto.com.ve
- KEATING, P. y Rodríguez, H. (1992). *Introducción a la lactología*. México: Limusa/Noriega.
- LEWIS, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. España: Acribia, S.A.
- Manual de Plantas de Pasterización* (1971). España: Acribia, S.A.
- Manuales para Educación Agropecuaria (1981). *Taller de leche*. México: Trillas.

REVILLA, A. (1976). *Tecnología de la leche. Procesamiento, manufactura y análisis*. México: Herrero Hermanos, Sucesores, S.A.

ROBINSON, R. y Tamime, A. (1991). *Yogur. Ciencia y Tecnología*. España: Acribia, S.A.

SÁNCHEZ, C. y Zuleta, C. (2002). *Evaluación técnica del sistema de enfriamiento por amoníaco (R-717) de la empresa Lácteos Los Andes*. Trabajo de grado. Universidad de Los Andes. Trujillo, Venezuela.

SINGH, P. y Heldman, D. (1997). *Introducción a la ingeniería de alimentos*. España: Acribia, S.A.

Vigusa. (2008). [Página web en línea]. Disponible en: www.vigusa.com.mx

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área, m ² .
A _f	Área de flujo, m ² .
b	Distancia entre placas, m.
C _p	Calor específico, kJ/kg·°C.
De	Diámetro equivalente, m.
df	Factor de incrustación, m ² ·h·°C/kJ.
e	Espesor, m.
F	Factor de corrección de $(\Delta T)_{lm}$.
G	Velocidad de masa, kg/m ² ·h.
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección, kJ/m ² ·h·°C.
k	Conductividad térmica, kJ/m·h·°C.
L	Longitud, m.
m	Flujo másico, kg/h.
N	Número de placas.
NP	Número de pasos.
N _s	Número de subcorrientes.
NUT	Número de unidades de transferencia.
Q	Caudal, l/h.
Q	Flujo de calor transferido, kJ/h.
T	Temperatura, °C.
T _s	Temperatura de superficie, °C
U	Coefficiente global promedio de transferencia de calor, kJ/m ² ·h·°C.
w	Ancho de la placa, m.
ρ	Densidad, kg/l.
μ	Viscosidad, kg/m·h.
μ _s	Viscosidad, kg/m·h.

Grupos adimensionales:

Pr	Número de Prandtl.
Re	Número de Reynolds.

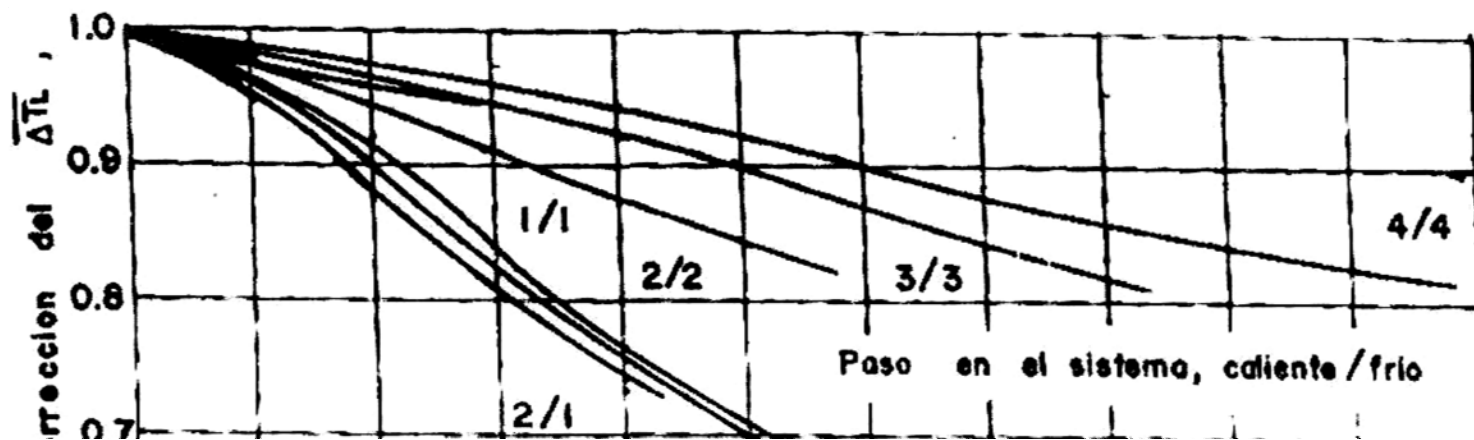
Subíndices:

ac	Acero.
c	Fluido caliente.
f	Fluido frío.

p	Placas.
prom	Promedio.
pt	Placas térmicas.
sc	Salida del fluido caliente.
sf	Salida del fluido frío.
t	Total.

ANEXOS

ANEXO 1



ANEXO 2

Parámetros físico-químicos establecidos para productos en la Empresa Nacional Lácteos Los Andes

ÁREA YOGURT FIRME	Análisis	Y. Firme / Fruta	Y. Firme Desc.	Y/cereal F y D	A. con Leche	Y. Batido	Jarabe Y/C	Mermelada YF	Jarabe YB
	°Brix			16,5 – 17,5	23 – 24	6 – 7	32 – 34	50 – 52	6 – 7
	pH	4,20 – 4,40	4,30 – 4,50	4,20 – 4,40	6,60 – 6,80	4,2 – 4,4		3,2 – 3,6	3,2 – 3,6
	Viscosidad (cps)			1600 - 2000		5000 - 7000	1800 - 2200	60000 - 100000	50000 - 80000

ÁREA DERIVADOS LÁCTEOS	Análisis	Y. L. Light	Y. L. Fresa/Piña	Y. L. Durazno/ Ciruela	Jarabe Fresa/Piña	Jarabe Durazno/ Ciruela	Yogurtin	Bio	Bio Light
	°Brix	8 – 10	16,6 – 17,6	16 – 17	36 – 38	32 – 36	18 – 19	17 – 18	6 – 7
	pH	4,30 – 4,50	4,20 – 4,40	4,20 – 4,40	3,2 – 3,6	3,2 – 3,6	4,20 – 4,40	4,3 – 4,5	4,3 – 4,5
	Viscosidad (cps)	1000 – 1200	1300 – 1600	1300 – 1600	1200 – 1400	1200 – 1400	200 – 400	200 – 400	250 – 400

ÁREA JUGOS Y NÉCTARES	Análisis	Pera	Manzana	Durazno	Naranja 100%	Naranja 60%
	°Brix	10,1 – 10,5	10,6 – 11	12,3 – 12,7	11 – 11,5	11,3 – 11,6
	pH	3,6 – 3,6	3,2 – 3,6	3,2 – 3,6		3,20 – 3,60
	Viscosidad (seg)	12 – 15,5	12 – 15,5	15 – 19		10 – 12
	% Acidez	0,20 – 0,24	0,22 – 0,26	0,24 – 0,28	0,75 – 0,85	0,48 – 0,50

ÁREA PAST. LECHE	Análisis	Leche Entera	Leche Desc.	Leche Semidesc.	Savory
	%Cloruros	0,07 – 0,110	0,07 – 0,120	0,07 – 0,110	0,08 – 0,10
	Densidad 15 °C	1,028 – 1,033	1,033 – 1,039	1,028 – 1,033	1,025 – 1,035
	Crioscopia	-0,540 – -0,550	-0,555 – -0,600	-0,540 – -0,550	
	%Grasa	Mín 3,2	Máx 1	2,4 – 2,6	4,0 – 4,2
	%Proteína	Mín 3,0	Mín 3,0	Mín 3,0	Mín 2,3
	Índice homog.	Máx 10	Máx 10	Máx 10	Máx 10
	%Sólidos totales	Mín 12	Mín 10,8	Mín 11,4	Mín 10,8
	Acidez (ml de NaOH)	15 – 16,5	15 - 17	15 – 16,5	10

Fuente: Empresa Nacional Lácteos Los Andes, 2008.

ANEXO 3

Productos elaborados en la Empresa Nacional Lácteos Los Andes



Jugos y Néctares Los Andes



Yogurt Líquido Ella

Yogurt Firme Ella





Chicha Los Andes



Bebida achocolatada Choc-Lac Los Andes