



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

RECIBIDA EN
CUAUTITLÁN
21
FEBRERO
1966

**“PROPUESTA PARA AUMENTAR LA
CAPACIDAD DE PRODUCCION EN UNA
PLANTA DE LECHE RECONSTITUIDA”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
JOSE ANTONIO VELAZQUEZ SILVA

ASESOR. IBQ FERNANDO BERISTAIN

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1966

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 20 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Propuesta para aumentar la capacidad de producción
en una planta de leche reconstituida"

que presenta al pasante: José Antonio Velázquez Silva.
con número de cuenta: 8208458-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 23 de Noviembre de 1995

PRESIDENTE	<u>I.B.Q. Fernando Beristain</u>	
VOCAL	<u>I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. José Luis Arjona Román</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.B.Q. Leticia Figueroa Villareal</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.B.Q. Saturnino Maya Ramirez</u>	

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

**Y A TODOS LOS PROFESORES QUE CON SU ESFUERZO HACEN POSIBLE
EL QUEACER ACADENICO Y ADMINISTRATIVO DE LA FES-C Y UNAM**

A MIS PADRES

**RAUL VELAZQUEZ CAMACHO
AGRIPIA SILVA GALLAGA**

A MIS HERMANOS

**RAQUEL
IRMA MARISELA
FERNANDO
RAUL
MARIA DEL CARMEN**

A LAS PERSONAS

**QUE ESTAN PRESENTES EN LOS RECUERDOS
ESTADOS DE ANIMO Y EN MI VIDA POR SIEMPRE.**

INDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO UNO	
GENERALIDADES DEL PRODUCTO Y MATERIAS PRIMAS	
1.1 Definición y normatividad de la leche reconstituida con grasa vegetal.	3
1.2 Definición y normatividad de materias primas.	
1.2.1 Leche descremada en polvo.	5
1.2.2 Aceite vegetal comestible.	9
1.2.3 Complejo vitamínico.	11
1.2.4 Agua potable.	12
CAPITULO DOS	
TECNOLOGIA DEL PROCESO Y CAPACIDAD INSTALADA	
2.1 Descripción del proceso.	14
2.2 Capacidad instalada.	
2.2.1 Capacidad de almacenamiento.	20
2.2.2 Capacidad de producción.	22
2.3 Necesidades de materia y energía.	26
2.3.1 Balance de materiales.	28
2.3.2 Balance de energía.	30

INDICE GENERAL

	Página
CAPITULO TRES	
PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA PARA AUMENTAR LA PRODUCCION	
3.1 Propuesta para aumentar la capacidad de producción en las líneas de proceso.	49
3.2 Necesidades de materiales y energía para la nueva capacidad.	51
3.2.1 Balance de materiales.	52
3.2.2 Balance de energía.	55
3.3 Analisis de requerimientos en materias primas y servicios entre la capacidad instalada y el aumento de producción.	
3.3.1 Materias primas.	65
3.3.2 Servicios.	67
3.4 Evaluación de caída de presión y coeficiente global de transferencia de calor en los pasteurizadores.	
3.4.1 Caída de presión.	71
3.4.2 Coeficiente global de transferencia de calor.	88
3.5 Necesidades de equipo adicional para aumentar la producción.	105

INDICE GENERAL

	Página
CAPITULO CUATRO	
ESTIMACION DE COSTOS PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCION	
4.1 Estimación de los costos de producción para la capacidad instalada.	110
4.2 Estimación de los costos para el aumento de producción.	112
4.3 Analisis de los costos de producción.	116
CONCLUSIONES	118
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	120

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Según datos recientes de la F.A.O. (Food and Agriculture Organization) en los países subdesarrollados el consumo per-cápita de leche y productos lácteos es relativamente bajo, con un promedio de 35 kilogramos, mientras que en los países desarrollados el consumo es de 200 kilogramos.

Existen países productores de leche a nivel mundial - Canadá, E.U., Australia, Nueva Zelanda, Comunidad Económica Europea -, que exportan sus excedentes de producción de leche a países pobres que tienen una baja ó nula producción de este alimento. (1)

México no cuenta con una producción de leche suficiente para satisfacer la demanda de consumidores de este alimento que en su mayoría es población infantil. Ante esta situación, el gobierno importa grandes cantidades de leche en polvo a través de la paraestatal CONASUPO y se convierte en proveedor de este importante alimento subsidiándolo a familias de escasos recursos económicos, el producto subsidiado es leche reconstituida con grasa vegetal que produce la empresa LICONSA, utilizando para su elaboración leche descremada en polvo, grasa vegetal y vitaminas sintéticas.

Datos recientes del Programa de Abasto Social de Leche de la propia empresa, afirman que el crecimiento del padrón de consumidores en el norte del Distrito Federal y Área metropolitana ha aumentado lo que obliga a incrementar la producción de leche reconstituida en un 58 % en relación a la capacidad instalada en la planta LICONSA ubicada en el municipio de Tlalnepantla, Estado de México. (2)

El presente trabajo tiene como objetivo general, elaborar un estudio técnico que sirva como una propuesta para aumentar la capacidad de producción de leche reconstituida para la planta de Tlalnepantla y cubrir de esta forma la demanda estimada por el programa de abasto de leche.

Para cumplir con el objetivo, el estudio se inicia con la descripción del producto terminado y las materias primas que se utilizan para su elaboración, mencionando aspectos nutritivos y funcionales importantes para el desarrollo del ser humano.

Más adelante se describe la tecnología utilizada en el proceso de elaboración y se hace un análisis de la capacidad instalada de producción para, proponer una modificación técnica al proceso que permita incrementar la producción, de forma tal que, utilizando la infraestructura existente los costos de inversión sean mínimos.

Finalmente se analizan los resultados obtenidos y se obtienen conclusiones al respecto.

CAPITULO UNO
GENERALIDADES DEL PRODUCTO
Y MATERIAS PRIMAS

	PAGINA
1.1 DEFINICION Y NORMATIVIDAD DE LA LECHE RECONSTITUIDA CON GRASA VEGETAL.	3
1.2 DEFINICION Y NORMATIVIDAD DE MATERIAS PRIMAS.	
1.2.1 LECHE DESCREMADA EN POLVO.	5
1.2.2 ACEITE VEGETAL COMESTIBLE.	9
1.2.3 COMPLEJO VITAMINICO.	11
1.2.4 AGUA POTABLE.	12

1.1 DEFINICION Y NORMATIVIDAD DE LA LECHE RECONSTITUIDA CON GRASA VEGETAL.

La leche es un líquido segregado por las glándulas mamarias de las hembras en los mamíferos, sirve de alimento básico para la(s) cría(s) en sus primeros meses de vida, al grado que no puede ser sustituida por otros alimentos. Es un líquido de composición compleja, tiene un color blanco, de apariencia opaca y sabor dulce.

La leche de vaca es sin duda la mejor fuente de calcio y otros nutrientes para el desarrollo de los niños y el mantenimiento de una buena salud para el ser humano en el transcurso de su vida. (3)

La leche reconstituida con grasa vegetal es una leche fluida, de composición cuantitativa del todo similar a una leche fresca pasteurizada y homogenizada. Obtenida a partir de leche descremada en polvo, aceite vegetal comestible con punto de fusión no mayor a 38 °C y agua potable, además se le debe adicionar vitaminas A y D₂ en cantidades de 3000 y 300 unidades internacionales por litro respectivamente. (4)

El producto está clasificado dentro de la clase de imitación de leche fluida, se clasifica en un sólo tipo y grado de calidad, el cuadro 1.1 muestra la normatividad que existe actualmente para la leche reconstituida con grasa vegetal mencionando algunas propiedades físico-químicas que tienen que estar presentes con el producto terminado.

CUADRO 1.1

**COMPOSICION Y ESPECIFICACIONES DE LA LECHE
RECONSTITUIDA CON GRASA VEGETAL.**

COLOR:	Blanco uniforme.
SABOR Y OLOR:	Fresco, no ácido.
ASPECTO:	Homogéneo, sin separación de ninguna de sus fases.
ACIDEZ:	1.2 g/lit como máximo, expresado en ácido láctico.
DENSIDAD:	1.02994 - 1.0305 kg/lit
pH:	6.6 - 7.0
VITAMINA A ₁ :	3000 UI/lit
VITAMINA D ₂ :	300 UI/lit
SOLIDOS TOTALES:	10.9 - 11.5 (% en peso)
SOLIDOS NO GRASOS:	8.0 - 8.6 (% en peso)
GRASA NO LACTEA:	3.0 mínimo (% en peso)
AGUA:	86.1 - 85.5 (% en peso)
PROTEINAS:	2.91 mínimo (% en peso)
LACTOSA:	4.1B mínimo (% en peso)
CFNIZAS:	0.65 mínimo (% en peso)
CUENTA DE COLIFORMES:	20,000 col/ml máximo
CUENTA DE MESOFILOS AEROBIOS:	10 col/ml máximo

Fuente: Norma Oficial Mexicana. México, 1982.

El cuadro 1.1 muestra valores de densidad y contenido de sólidos en el producto terminado basados en una normatividad oficial, información necesaria para conocer los requerimientos de insumos que se necesitan para la producción actual, y las necesidades a futuro cuando se proponga el aumento de la capacidad instalada.

1.2 DEFINICION Y NORMATIVIDAD DE MATERIAS PRIMAS.

1.2.1 LECHE DESCREMADA EN POLVO.

Este insumo es el que proporciona los constituyentes nutritivos a la leche reconstituida sin contar a la grasa y vitaminas liposolubles.

La leche descremada en polvo (l.d.p.) es leche de vaca sin grasa que mediante un proceso de secado ha sido transformada en un producto pulverizado que contiene entre 3.5 - 4.0 % de humedad y 1.0 - 1.5 % de grasa, su conservación y almacenamiento se favorece al contener un mínimo de grasa residual, disminuyendo con esto el peligro de enranciamiento y oxidación. (vease el cuadro 1.2)

La producción de l.d.p. se realiza por medio de dos métodos de secado: alta temperatura y baja temperatura, el primero desnaturaliza al 100 % el contenido de proteínas solubles, mientras que el segundo desnaturaliza sólo el 10% del contenido de proteínas solubles en el polvo.

La l.d.p. elaborada mediante un proceso de secado a alta temperatura se utiliza como insumo en la industria del helado, panadería, chocolate, pastas, etc. ya que no se afectan las propiedades reológicas de estos productos.

Por el contrario la l.d.p. que proviene de un proceso de secado a baja temperatura se utiliza como insumo en la elaboración de alimentos donde se requiera una gran solubilidad de la mezcla.

El proceso de leche reconstituida utiliza como insumo l.d.p. que proviene de un secado a baja temperatura garantizando con esto un contenido de proteínas solubles en el polvo y favorecer la solubilidad en el agua (rehidratación).

CUADRO 1.2

**COMPOSICION Y ESPECIFICACIONES DE LA
LECHE DESCREMADA EN POLVO**

COLOR:	Blanco.
OLOR:	Puro.
HUMEDAD:	4.00 % máximo.
GRASA:	1.25 % máximo.
CENIZAS:	8.00 % máximo.
ACIDEZ:	0.18 % máximo.
pH:	6.80 máximo.
PARTICULAS QUEMADAS:	15 mg máximo.
CUENTA ESTANDAR:	50,000 col/mg máximo.
CUENTA COLIFORMES:	5 col/mg máximo.
CUENTA HONGOS:	10 col/mg máximo.
SALMONELLA:	Negativo.
TERMONUCLEASA:	Negativo.

Fuente: Norma Oficial Mexicana. Alimentos Lácteos "Leche descremada polvo." México, 1986.

Es importante considerar el contenido de humedad y grasa de la leche descremada en polvo como se muestra en el cuadro 1.2 al realizar los balances de materiales y obtener los requerimientos necesarios de estos insumos para la producción actual y para la que se pretenda alcanzar con el aumento de la capacidad instalada.

Entre las propiedades fisicoquímicas que debe tener una l.d.p. para su reconstitución se encuentran: humectabilidad, dispersabilidad y solubilidad. Existen numerosos factores que favorecen estas propiedades, entre los que se encuentran: (5)

Cantidad de grasa

Un alto contenido de grasa, glicéridos de alto punto de fusión y la existencia de grasa libre disminuyen la humectabilidad y dispersabilidad del polvo.

Cristalización de lactosa

La cristalización de la lactosa (el azúcar principal de la leche) como consecuencia de la absorción de humedad durante un almacenamiento inadecuado del polvo, afecta la humectabilidad.

Contenido de proteínas

Un polvo con un alto porcentaje de proteínas solubles desnaturalizadas y la alteración de las micelas de fosfocaseinatos disminuyen la solubilidad y dispersabilidad.

Forma, peso y tamaño de las partículas

Las partículas con superficie irregular son más deseables que las esféricas. Las partículas con peso específico alto, vencen más fácilmente la tensión superficial del agua. Se recomiendan tamaños de partículas mayores a las 100 micras.

La leche descremada en polvo proporciona componentes de gran valor nutritivo al producto terminado, estos nutrientes son: proteínas, carbohidratos, sales minerales y vitaminas.

PROTEINAS

Se encuentran en una proporción del 35% en la leche descremada en polvo, nutricionalmente desempeñan una gran variedad de funciones que van desde la formación de la estructura corporal hasta la reproducción de todo ser vivo. Las proteínas de la leche contienen todos los aminoácidos esenciales para el ser humano y tienen una digestibilidad del 95% en comparación con otros alimentos. La importancia de estos nutrientes radica en que no se pueden obtener sintéticamente como las vitaminas y el calcio, los cuales se adicionan a diversos productos lácteos.

CARBOHIDRATOS

Constituyen el 52% de la l.d.p., existen varios tipos de estos nutrientes, pero el de mayor importancia tanto por su cantidad como por su calidad es sin duda la lactosa (carbohidrato formado por una molécula de glucosa y otra de galactosa).

La lactosa proporciona 3.87 kcal/g de energía y forma parte de la estructura de los galactolípidos componentes que forman parte del cerebro, ayudan a la absorción del calcio y otros minerales además promueven el desarrollo de bacterias intestinales para la síntesis de vitaminas como biotina, riboflavina y otras vitaminas del complejo B.

SALES MINERALES

Se encuentran en una proporción del 8% en la leche descremada en polvo, están formadas principalmente de calcio, fósforo, sodio, potasio, magnesio, cloruros y sulfatos. Las sales minerales juegan un papel importante en la dieta y la nutrición. El calcio ocupa el primer lugar en importancia, ya que interviene en la formación de los huesos, contracción muscular, coagulación sanguínea y transmisión de impulsos eléctricos. El calcio se encuentra asociado con las proteínas de la leche en forma de caseinatos.

1.2.2 ACEITE VEGETAL COMESTIBLE.

Desde el punto de vista energético la materia grasa de la leche es el componente más importante, representando la mitad del poder calorífico total (proporciona 8.7 kcal/g). El papel que desempeña la grasa es fundamental ya es el transportador de las vitaminas liposolubles (A, D₂ y E) contenidas en la leche. (6)

La leche reconstituida se elabora a partir de leche descremada en polvo, por lo que es necesario adicionar grasa para cumplir con los requerimientos energéticos y nutricionales del producto; para ello se utilizan grasas (aceites) vegetales comestibles de valor nutritivo similar a la grasa de la leche entera. Estos aceites deben tener un punto de fusión relativamente bajo, menor a los 30°C para favorecer su digestibilidad, además deben contener los ácidos grasos esenciales para el ser humano. (7)

La grasa utilizada en el proceso proviene de soya, coco, y palma, estos aceites contienen los requerimientos nutritivos y energéticos necesarios para la leche reconstituida (ver cuadro 1.3).

CUADRO 1.3

Composición y especificaciones de aceites vegetales

ESPECIFICACION	SOYA (a)	COCO (b)	HIDROPAL (c)
COLOR :	amarillo	amarillo	amarillo
OLOR :	inodoro	inodoro	inodoro
SABOR :	insipido	insipido	insipido
ASPECTO :	oleoso	oleoso	oleoso
TEMP. RECEPCION :	30-45 °C	30-45 °C	
ACIDEZ :	0.1 % máx.	0.05 % máx.	0.05 % máx.
PESO ESPECIFICO :	0.922-0.906	0.9050 g/l	0.9050 g/l
PUNTO DE FUSION:	20-22 °C	23-28 °C	17-19 °C
INDICE DE SAPONIFICACION:	185-190 mg	248-264 mg	200-210 mg
INDICE DE IODO :	45-85	7.5-10.5	45
INDICE DE PEROXIDOS :	1.0 máx.	0.50 máx.	1.0 máx.

Contenido de ácidos % en peso

ACIDO CAPROICO :	0.8	----	----
ACIDO CAPRILICO :	----	5.5 - 9.5	----
ACIDO CAPRICO :	----	4.5 - 9.5	----
ACIDO LAURICO :	----	44 - 52	----
ACIDO MIRISTICO :	----	13 - 19	----
ACIDO PALMITICO :	11 - 13	7.5 - 10.5	----
ACIDO ESTEARICO :	2.0 - 6.0	10 - 30	----
ACIDO OLEICO :	57 - 62	5.0 - 8.0	----
ACIDO LINOLEICO :	20.5-24.5	1.5 - 2.5	----
ACIDO LINOLENICO :	1.75	0.0 - 0.4	----

(a) Fuente: Norma Oficial Mexicana. NOM-F-14-1987.

(b) Fuente: Norma Oficial Mexicana. NOM-F-14-1985.

(c) Hidropal es una mezcla de aceites vegetales de palma y de coco en proporción del 70% y 30% respectivamente, y su análisis fué proporcionado por el proveedor del producto: Hidrogenadora Nacional S.A. (HINSA).

1.2.3 COMPLEJO VITAMINICO

La leche descremada en polvo contiene las siguientes vitaminas: riboflavina, tiamina, niacina, ácido pantoténico, pirodixina y biotina, sin embargo debido al bajo contenido en grasa, la leche en polvo carece de vitaminas liposolubles (A, D₂ y E) de gran importancia nutritiva para el ser humano, por ejemplo, la vitamina A que se encarga de mantener en buen estado la visión y la piel, y la vitamina D₂ que ayuda a prevenir enfermedades como el raquitismo.

Debido a esta carencia en vitaminas, es necesario adicionar a la leche reconstituida un complejo vitamínico sintético para aumentar su valor nutritivo, en las cantidades requeridas de acuerdo a la normatividad existente. (vease cuadro 1.1)

CUADRO 1.4

COMPOSICION Y ESPECIFICACIONES DEL COMPLEJO
VITAMINICO A Y D₂

CALIDAD:	grado alimenticio.
DENOMINACION:	vitamina A y D ₂ oleosa.
OLOR:	característico.
ASPECTO:	aceite viscoso, libre de impurezas.
COLOR:	amarillo claro a rojizo.
INDICE DE PEROXIDOS:	10 meq/lt máx.
INDICE DE ACIDEZ:	2 meq/lt máx.
CONTENIDO VIT. A :	10 ⁶ UI/g
CONTENIDO VIT. D ₂ :	10 ⁷ UI/g

Fuente: Proveedor F. HOFFMAN-LA ROCHE-Co. LTD.

1.2.4 AGUA POTABLE

El agua que se utiliza en el proceso de reconstitución de leche proviene de dos pozos ó mantos acuíferos ubicados dentro de la planta, esta agua dada su naturaleza posee una calidad bacteriológica similar a la de agua potable, entendiéndose como agua potable aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud y este libre de gérmenes patógenos y sustancia tóxicas. (8)

Sin embargo, el agua que proviene del subsuelo contiene gran cantidad de bióxido de carbono y sales minerales de calcio y magnesio que le proporciona una "dureza" promedio de 600 ppm.

De acuerdo a la normatividad existente para agua potable (ver cuadro 1.5) esta dureza es alta, por lo que es necesario reducirla a niveles de potabilidad utilizando un tratamiento químico.

El tratamiento químico para reducir la dureza del agua se basa en el método que utiliza cal (hidróxido de calcio) en frío para eliminar el bióxido de carbono y la adición de un floculante (polímero aniónico) no tóxico para favorecer la precipitación de las sales de calcio y magnesio, además del tratamiento con cal es necesario clorar el agua para garantizar su potabilidad. (9)

El proceso es el siguiente: el agua que proviene de los pozos se mezcla con una solución saturada (lechada) de cal junto con el floculante y una solución de hipoclorito de sodio en un tanque agitado, una vez que han precipitado las sales minerales por medio de las reacciones químicas correspondientes el agua pasa por unos filtros de grava y arena para eliminar impurezas y residuos de cal, el agua filtrada se almacena en una cisterna para que finalmente sea bombeada a unos purificadores de carbón activado y eliminar el sabor y olor a cloro. (10)

Con este tratamiento se obtiene agua potable ó agua tratada en condiciones de ser utilizada en el proceso, las especificaciones del cuadro 1.5 sirven de referencia para tener un control de calidad en el proceso de tratamiento del agua y cumplir con la normatividad establecida.

CUADRO 1.5**COMPOSICION Y ESPECIFICACIONES
PARA AGUA POTABLE**

ASPECTO:	líquido.
pH:	6.9 a 8.5
OLOR:	característico.
SABOR:	característico.
COLOR:	20 unidades máx. de la escala de platino
TURBIEDAD:	10 unidades máx. de la escala de sílice
CARBONATO DE CALCIO:	400 ppm máx.
ALUMINIO:	0.20 ppm máx.
ARSENICO:	0.05 ppm máx.
BARIO:	1.00 ppm máx.
CADMIO:	0.005 ppm máx.
CIANURO:	0.05 ppm máx.
COBRE:	1.50 ppm máx.
CLORO LIBRE (clorada):	0.20 ppm máx.
CLORO LIBRE (sobreclorada):	1.00 ppm máx.
CROMO HEXVALENTE:	0.05 ppm máx.
COMPUESTOS FENOLITICOS:	0.001 ppm máx.
FIERRO:	0.30 ppm máx.
FLOPUROS:	1.50 ppm máx.
MAGNESIO:	125 ppm máx.
MANGANESD:	0.15 ppm máx.
MERCURIO:	0.001 ppm máx.
NITRATOS:	5.00 ppm máx.
NITRITOS:	0.05 ppm máx.
NITROGENO PROTEICO:	0.10 ppm máx.
PLOMO:	0.050 ppm máx.
SELENIO:	0.05 ppm máx.
SULFATOS (expresados en iones):	250 ppm máx.
ZINC:	5.00 ppm máx.
DUREZA TOTAL (como CaCO ₃):	300 ppm máx.
COLIFORMES TOTALES:	2 col/100 ml máx.
ORGANISMOS FECALES:	negativo.

Fuente: Diario Oficial del 18 de Enero de 1988. México, D.F.

CAPITULO DOS
TECNOLOGIA DEL PROCESO Y
CAPACIDAD INSTALADA

	PAGINA
2.1 DESCRIPCION DEL PROCESO	14
2.2 CAPACIDAD INSTALADA	
2.2.1 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	20
2.2.2 CAPACIDAD DE PRODUCCION	22
2.3 NECESIDADES DE MATERIA Y ENERGIA	26
2.3.1 BALANCE DE MATERIALES	28
2.3.2 BALANCE DE ENERGIA	30

2.1 DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso de elaboración de leche reconstituida consiste básicamente en rehidratar la leche descremada en polvo con agua potable, adicionar grasa vegetal y vitaminas liposolubles. La mezcla resultante se homogeniza, se pasteuriza y se enfría para que finalmente se almacene.

La figura 2.1 describe la secuencia en bloques del proceso de producción.

FIGURA 2.1

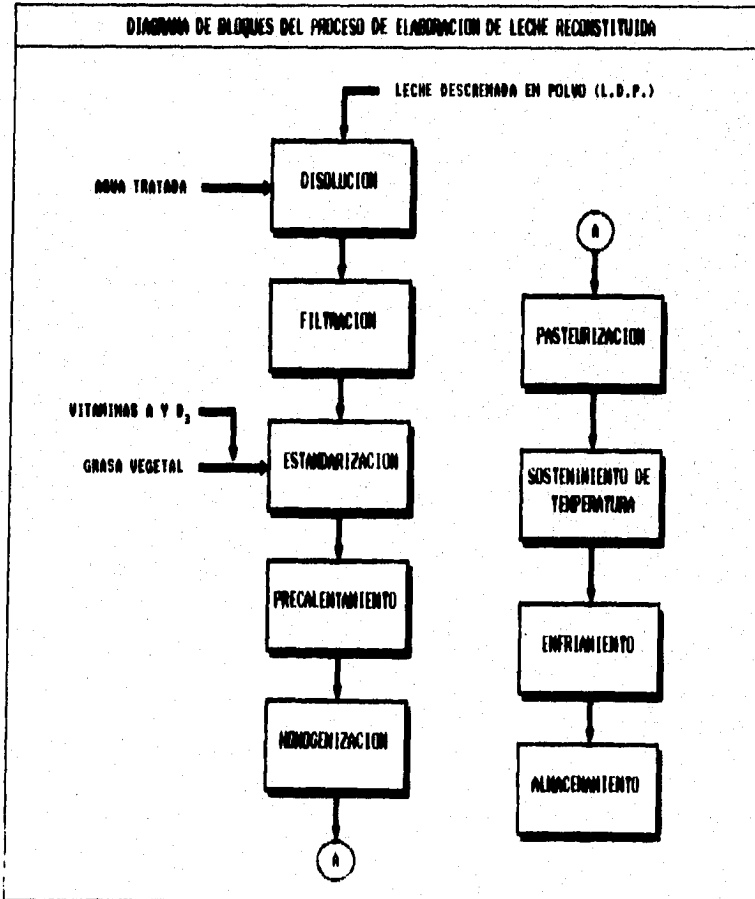
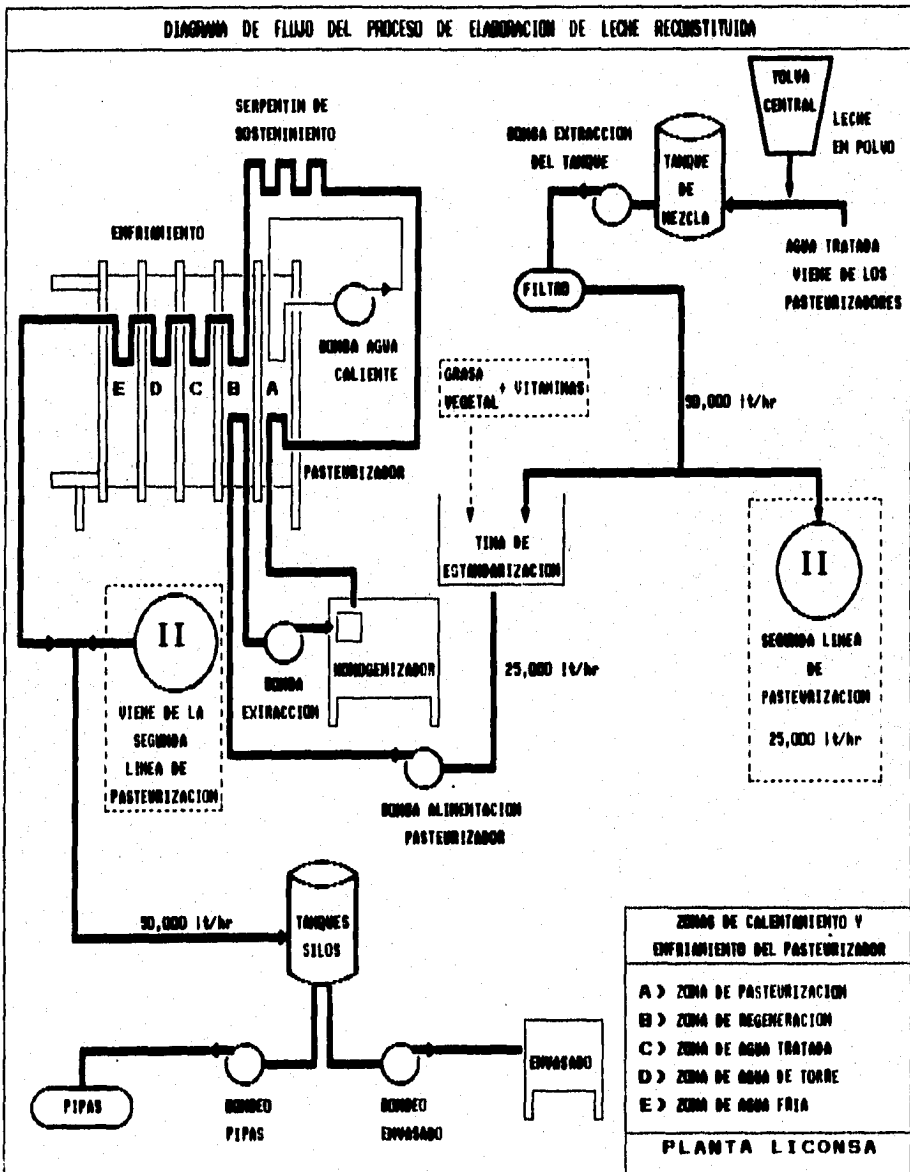


FIGURA 2.2



La figura 2.2 representa el diagrama de flujo del proceso, en él se marcan las principales corrientes de flujo y se esquematizan las operaciones básicas del diagrama de bloques de la figura 2.1 mediante las cuales se desarrolla el proceso. (11)

DISOLUCION

La leche descremada en polvo (l.d.p.) almacenada en una tolva central se dosifica mediante un "gusano" transportador y una válvula rotativa a una tolva más pequeña, de aquí la leche pasa al proceso a través de una cámara de vacío (eyector). Con el vacío provocado por el eyector, el polvo es succionado para tener contacto con agua precalentada a 30°C (el agua proviene de los pasteurizadores), y entonces comienza la disolución. La mezcla resultante es conducida a un tanque cerrado, en donde por medio de agitación mecánica se termina de realizar la operación.

FILTRACION

Del tanque de mezcla, la leche rehidratada se bombea a un juego de tres filtros, con la finalidad de retener impurezas (principalmente restos de material de empaque) que pudieran estar presentes en la leche en polvo.

ESTANDARIZACION

Después de ser filtrada la leche rehidratada se estandariza en dos tinas de balance, donde se dosifican las cantidades requeridas de grasa vegetal y vitaminas (éstos insumos se mezclan previamente). La dosificación se realiza con bombas de desplazamiento positivo de tipo engranes.

PRECALENTAMIENTO

Una vez estandarizada la leche se bombea a la zona de regeneración ó precalentamiento del pasteurizador donde alcanza una temperatura de 60-61°C con la finalidad de facilitar la homogenización, para precalentar la leche "cruda" se aprovecha el calor sensible de la leche pasteurizada a 75°C que proviene de la zona de pasteurización.

HOMOGENIZACION

Después de ser precalentada, la leche pasa por un proceso de homogenización para integrar completamente la grasa vegetal en la mezcla y evitar separación de ésta en el producto terminado durante el almacenamiento. Para ello, se utiliza un homogenizador donde la leche se somete a un incremento de presión de 4 a 100 kg/cm², con esta presión el flujo es forzado a pasar a través de una válvula de homogenización (llamada así por tener un orificio muy pequeño) donde se efectúa un cambio brusco y regresivo de presión hasta 28 kg/cm², con esto, los glóbulos de grasa se rompen en diminutas partículas cuyo diámetro promedio varía de 3 a 6 micras garantizando que exista en la mezcla una composición físico-química homogénea.

PASTEURIZACION

Lograda la homogenización, se lleva a cabo la pasteurización con la finalidad de eliminar todos los microorganismos patógenos. El proceso se lleva a cabo en un intercambiador de calor tipo placas utilizando la técnica H.T.S.T. (alta temperatura corto tiempo), la leche se calienta de 61°C hasta 75°C. El calentamiento de la leche en el pasteurizador es indirecto utilizando agua caliente a contracorriente.

El agua se calienta directamente con vapor saturado dentro de una columna ó pierna de calentamiento.

SOSTENIMIENTO DE TEMPERATURA

En base al método H.T.S.T. la pasteurización de la leche a 75°C tiene que sostenerse durante un tiempo mínimo de 15 segundos para garantizar la eliminación de organismos patógenos, para eso la leche una vez que se calienta a 75°C pasa por un serpentín o tubo de sostenimiento diseñado para que el flujo tenga un tiempo de residencia de 16 segundos. Al final del serpentín existe una válvula de desviación que detecta la temperatura en ese punto, si la temperatura se ha mantenido a 75°C la leche pasa a la etapa de enfriamiento garantizando su correcta pasteurización, si por el contrario la leche no alcanza los 75°C la válvula es accionada automáticamente y el flujo retorna a la etapa de calentamiento.

ENFRIAMIENTO

Una vez que la leche se ha pasteurizado a 75°C pasa a la etapa de enfriamiento dentro del mismo pasteurizador en cuatro zonas de intercambio térmico a contracorriente con el fluido de enfriamiento:

Regeneración.

También llamada zona de precalentamiento, en esta zona la leche pasteurizada que proviene de la zona de calentamiento se enfría con leche "cruda" sin pasteurizar, en esta etapa se aprovecha el calor sensible de la leche pasteurizada para precalentar la leche "cruda", al mismo tiempo que se disminuye la temperatura a la leche pasteurizada hasta 49°C.

Agua tratada.

La leche pasteurizada que proviene de la zona de regeneración sigue su proceso de enfriamiento con agua tratada (agua que ha recibido un tratamiento químico para disminuir su grado de dureza). En esta zona la leche disminuye su temperatura de 49°C hasta 39,5°C. A su vez, el agua tratada que se utiliza para el enfriamiento, se precalienta hasta 35°C para después utilizarla en la rehidratación de la leche en polvo.

Agua de torre.

En esta zona sigue enfriándose la leche que proviene de la zona de agua tratada, aquí la leche se enfría con agua proveniente de una torre de enfriamiento hasta disminuir su temperatura de 39,5°C hasta 29°C.

Agua fría.

Finalmente la leche pasteurizada termina su proceso de enfriamiento utilizando agua fría a 1°C que proviene de un enfriador tipo banco de hielo (serpentin inundado) el cual utiliza amoníaco como refrigerante. La leche se enfría de 29°C hasta 7°C.

ALMACENAMIENTO

Al salir de las zonas de enfriamiento de los pasteurizadores, la leche está lista para almacenarse en los tanques-silos.

Cuando se ha terminado de llenar un silo, se toma una muestra de leche y se analiza en el laboratorio de Control de Calidad para su liberación. El producto debe cumplir con las normas establecidas en el cuadro 1.1

Una vez liberada, la leche se envasa en bolsas de polietileno de dos litros ó se bombea para el llenado de carros-tanque (pipas) para su distribución.

2.2 CAPACIDAD INSTALADA

2.2.1 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

LECHE DESCREMADA EN POLVO

La planta cuenta con una bodega de almacenamiento para leche en polvo con una capacidad de 1,200 toneladas. La leche es de importación y llega a la planta por vía férrea y tracto-camión en sacos de 25 kg. El patrón de estibamiento es de 42 sacos por tarima e hileras de 8 tarimas sobrepuestas.

Dentro de la bodega, mediante unas bandas transportadoras se vierten los sacos de leche a dos tolvas alimentadoras conectadas en serie. Un soplador transporta el polvo hasta una tolva central que está conectada directamente al proceso de producción. El soplador maneja un flujo de aire de 17 m³/min y una presión de 0.60 kg/cm²

GRASA VEGETAL

La grasa vegetal se almacena en tanques cilíndricos verticales cuya capacidad de almacenamiento total es de 164,000 kg repartida en tres tanques de 18,000 kg y un tanque de 110,000 kg.

Los tanques de almacenamiento tienen un aislamiento térmico y venas de vapor para mantener la temperatura de la grasa que oscila entre los 30-45°C.

PRODUCTO TERMINADO

La leche reconstituida se almacena directamente del proceso a los tanques-silos y ahí se mantiene en espera de ser liberada para después envasarse ó se bombea para el llenado de pipas. La capacidad de almacenamiento es de 740,000 litros repartidos en cuatro silos de 75,000 litros c/u y cuatro silos de 110,000 litros c/u.

También existen dos cuartos fríos para almacenar la leche envasada, la temperatura de los cuartos es de 10°C y entre los dos suman una capacidad máxima de almacenamiento de 190,000 litros repartidos en 1,583 estibas (cada estiba contiene 6 canastillas de plástico, y cada canastilla tiene 20 litros, es decir 10 bolsas de 2 litros c/u), el almacenamiento es temporal y depende del número de camiones listos para ser cargados y del tiempo que demoren éstos en regresar de sus respectivas rutas de distribución.

2.2.2 CAPACIDAD DE PRODUCCION

EQUIPO DE PROCESO

La planta tiene instalada en el Área de proceso una capacidad de producción de 50,000 lt/hr de leche reconstituida (Ver figura 2.2), dividida en dos líneas paralelas de proceso con el siguiente equipo:

- Una tolva central de almacenamiento de leche en polvo con capacidad para 7,000 kg.
- Un sistema de dosificación para leche en polvo que incluye: un gusano transportador, una válvula rotativa y un eyector (camara de succión).
- Un tanque de mezclado con capacidad para 6,000 litros.
- Una bomba de extracción del tanque de mezclado con gasto de 50,000 lt/hr
- Un Juego de filtros.
- Dos tinas para estandarización con volumen de 1,500 litros c/u.
- Dos bombas de alimentación a pasteurizadores con gasto de 25,000 lt/hr cada una.
- Dos bombas de extracción de pasteurizadores con gasto de 30,000 lt/hr cada una.
- Dos homogenizadores para leche.
- Dos pasteurizadores para leche.
- Dos bombas para recirculación de agua caliente con gasto de 35,000 lt/hr cada una.
- Dos serpentines para sostenimiento de temperatura de pasteurización.
- Ocho tanques-silo de almacenamiento para leche con volumen total de almacenamiento de 740,000 litros.
- Una bomba para alimentación de leche a máquinas envasadoras con gasto de 50,000 lt/hr.
- Una bomba de alimentación de leche para el llenado de pipas con gasto de 50,000 lt/hr.

Los pasteurizadores son de placas y tienen cinco zonas de intercambio térmico para el calentamiento y enfriamiento de la leche (ver figura 2.4).

Los pasteurizadores y homogenizadores tienen una capacidad diseñada para 25,000 lt/hr de leche, y al igual que los demás equipos y tuberías están fabricados en acero inoxidable con acabado sanitario, las conexiones son de tipo roscadas y "clamp" para facilitar la limpieza y montaje de los equipos.

Además del equipo de proceso, la planta tiene un área de envasado de leche en bolsas de polietileno, existen nueve máquinas envasadoras con capacidad de 4,800 lt/hr cada una.

También se cuenta con una flota de 14 carros-tanque (pipas) cuya capacidad promedio es de 17,000 litros c/u, cada pipa puede distribuir la leche a razón de cuatro recorridos diarios, por tanto se tiene una capacidad de distribución de 784,000 litros diarios.

SERVICIOS AUXILIARES

AGUA TRATADA

La empresa tiene una planta de tratamiento de agua con capacidad para 80,000 lt/hr de agua tratada con el siguiente equipo:

- Dos bombas tipo turbina vertical con gasto de 126,000 lt/hr cada una.
- Un tanque de reacción con capacidad para 85 m³.
- Una cisterna para agua tratada con capacidad para 70 m³.
- Dos filtros de arena.
- Diez filtros de carbón activado con capacidad para 9,000 lt/hr c/u.
- Tres bombas centrífugas para alimentación de agua tratada al proceso con capacidad para 35,000 lt/hr cada una.
- Un tanque de almacenamiento para agua tratada con capacidad para 1,000 m³.

AGUA DE ENFRIAMIENTO

Existe un sistema de enfriamiento para el agua de servicio utilizada en los pasteurizadores con el siguiente equipo:

- Una torre de enfriamiento tipo tiro forzado para enfriar agua con capacidad para 110,000 lt/hr.
- Tres bombas para suministro de agua de torre al proceso con capacidad para 80,000 lt/hr cada una.
- Un enfriador con amoníaco para agua tipo banco de hielo (serpentin inundado) con capacidad para 390 toneladas de refrigeración.
- Cuatro compresores para amoníaco de cuatro cilindros cada uno.
- Un compresor para amoníaco de seis cilindros.
- Un compresor para amoníaco de ocho cilindros.
- Cuatro condensadores tipo tubulares para amoníaco con capacidad para 142 toneladas de refrigeración cada uno.
- Cuatro bombas centrífugas para suministro de agua del enfriador al proceso con capacidad para 60,000 lt/hr cada una.

OTROS SERVICIOS

- Dos generadores de vapor tipo caldera con capacidad para 1,500 kg/hr cada uno.
- Un compresor para aire tipo tornillo con capacidad para 15 m³/hr.

El siguiente cuadro muestra la capacidad de producción diaria y los tiempos de operación e inproductivos del proceso.

CUADRO 2.1

CAPACIDAD INSTALADA DE PRODUCCION Y CAPACIDAD DISPONIBLE DE DISTRIBUCION	
días operativos al año :	297 días
tiempo de operación al día :	17 horas
tiempo inproductivo al día :	7 horas
ritmo de producción:	50,000 lt/hr
capacidad instalada de producción diaria :	850,000 lt
capacidad de distribución en envase diario :	734,400 lt
capacidad de distribución en pipas diario:	784,000 lt
capacidad total de distribución (envase + pipas):	1'518,400 lt
relación: distribución/producción :	1.786

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por el Depto. de producción de la empresa.

El tiempo inproductivo del cuadro 2.1 es un promedio del tiempo que se invierte en labores de limpieza en equipos y líneas, así como el mantenimiento correctivo y preventivo generado, también se consideran los posibles retardos de las unidades encargadas de la distribución, ya que un atraso de éstas afecta la capacidad de almacenamiento del producto provocando paros en la producción.

También se relaciona la capacidad de distribución contra la capacidad de producción instalada cuyo valor es de 1.786, lo que quiere decir que actualmente el ritmo de distribución es 78.6 % mayor al de producción, esta es una razón por la que se pretende -considerando también el incremento del padrón de consumidores- aumentar la capacidad de producción.

2.3 NECESIDADES DE MATERIA Y ENERGIA

En la industria de transformación como la alimenticia es necesario cuantificar las necesidades de materia y energía para el diseño de equipo de proceso y la estimación de los costos de materias primas y servicios para la producción, estas necesidades y la eficiencia del proceso se calculan mediante la elaboración de balances de materiales y energía.

Los balances se basan en las leyes de conservación en donde la materia y la energía de cualquier proceso no se crea ni se destruye sólo se transforma, en otras palabras la cantidad de masa y energía a la entrada es igual a la salida del proceso más la acumulación generada dentro del mismo.

Cuando las cantidades de energía en forma de calor que se transfieren en un proceso son grandes y se llevan a cabo a presión constante, las otras manifestaciones de energía (potencial, cinética, trabajo y fricción) se desprecian, por lo que sólo se considera la energía de los materiales involucrados en el proceso (entalpías de materiales y de calor de reacción) y el calor añadido ó extraído del mismo. (12)

Un balance de energía para el proceso de leche reconstituida es en realidad un balance de calor, la expresión matemática es la siguiente:

$$H_e + H_r + Q = H_i$$

Donde:

- H_e = entalpías de entrada de los materiales al proceso.
- H_r = entalpías de reacción química durante el proceso.
- Q = calor neto añadido ó extraído durante el proceso.
- H_i = entalpías de salida de los materiales del proceso.

Cuando en el proceso no existe generación de calor por reacción química ni calor añadido o extraído, la energía en forma de entalpía de materiales a la entrada y a la salida es constante.

$$H_{in} = H_{out}$$

La entalpía de un material ó sustancia se calcula con la ecuación:

$$H = m C_p (T_2 - T_1)$$

Donde: H = Entalpía de materiales [=] energía/masa
 m = Flujo másico del material [=] masa/tiempo
 C_p = Capacidad calorífica del material [=] energía/tiempo-temp.
 $(T_2 - T_1)$ = Diferencia de temperaturas de entrada y salida.

La capacidad calorífica (C_p) de la leche se calcula con la siguiente ecuación: (13)

$$C_p = 2.094 X_{SG} + 1.256 X_{SNG} + 4.187 X_{AGUA} \quad [=] \text{ kjoule / kg } ^\circ\text{C}$$

Donde: X_{SG} = fracción de sólidos grasos en la leche.
 X_{SNG} = fracción de sólidos no grasos en la leche.
 X_{AGUA} = fracción de agua en la leche.

En el proceso de leche reconstituida se aplican los balances de materia y energía en las etapas de disolución, estandarización, precalentamiento, pasteurización y enfriamiento para conocer las necesidades de materias primas y servicios auxiliares que se requieren para la producción.

En los balances de energía se supone que no existe generación de calor por reacción química ni calor añadido ó extraído en las etapas del proceso.

2.3.1 BALANCE DE MATERIALES

Actualmente se procesan 50,000 lt/hr de leche reconstituida, cuya composición como producto terminado es: (vease cuadro 1.1)

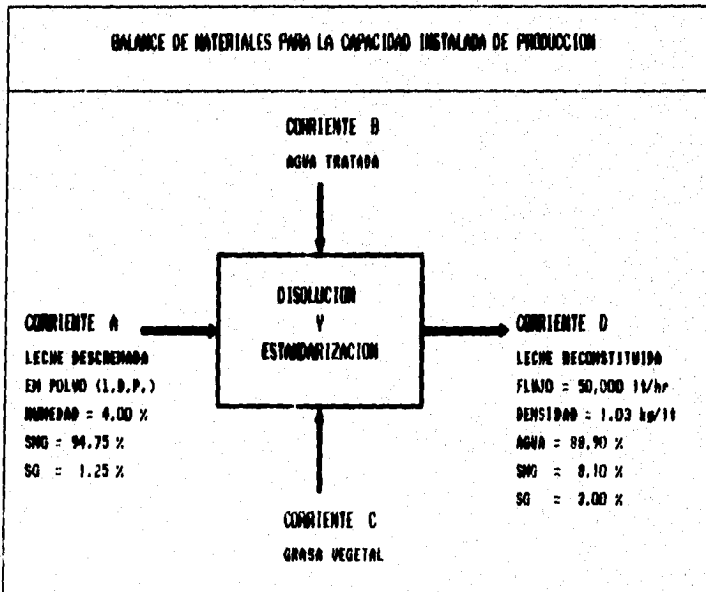
Agua potable:	88.90%
Sólidos totales (ST) :	11.10%
Sólidos no grasos (SNG) :	8.10%
Sólidos grasos (SG) :	3.00%
Densidad :	1.0300 kg/lt

La leche descremada en polvo (l.d.p.) que se utiliza en el proceso tiene la siguiente composición: (vease cuadro 1.2)

Sólidos no grasos (SNG) :	94.75%
Sólidos grasos (SG) :	1.25%
Humedad :	4.00%

A continuación se plantea un balance general de materia para obtener las cantidades de insumos en el proceso.

FIGURA 2.3



Del balance de materia planteado en la figura 2.3 se obtienen las cantidades requeridas de insumos para la producción de 50,000 lt/hr de leche reconstituida, las cuales se resumen en el cuadro 2.2

Leche descremada en polvo:

$$AX_{\text{leche}} = DX_{\text{leche}}$$

$$A(0.9475) = (51,500)(0.081)$$

$$A = \underline{4,403} \text{ kg/hr}$$

Agua tratada:

$$AX_{\text{agua}} + B = DX_{\text{agua}}$$

$$(4,403)(0.04) + B = (51,500)(0.8890)$$

$$B = \underline{45,607} \text{ kg/hr}$$

Grasa vegetal:

$$AX_{\text{grasa}} + C = DX_{\text{grasa}}$$

$$(4,403)(0.0125) + C = (51,500)(0.03)$$

$$C = \underline{1,490} \text{ kg/hr}$$

CUADRO 2.2

REQUERIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS PARA LA CAPACIDAD INSTALADA DE PRODUCCION: 50,000 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA		
LECHE DESCREMADA EN POLVO	4,403 kg/hr	8.55%
GRASA VEGETAL	1,490 kg/hr	2.89%
AGUA TRATADA	45,607 kg/hr	88.56%
TOTALES	51,500 kg/hr	100.00%

En base a la densidad establecida por la normatividad del producto terminado (1.0300 kg/lt), el flujo masico total de 51,500 kg/hr equivale a los 50,000 lt/hr de leche reconstituida.

2.3.2 BALANCE DE ENERGIA

El balance de calor ó energía se aplica a las etapas del proceso donde exista un calentamiento ó enfriamiento de la leche para conocer las temperaturas y los requerimientos de servicios: vapor, agua caliente y agua de enfriamiento.

Las etapas involucradas son: precalentamiento, pasteurización y enfriamiento; y se realizan dentro de los pasteurizadores a través de las zonas de intercambio de calor de cada uno de ellos: (ver figura 2.4)

- A) Pasteurización (calentamiento)
- B) Regeneración (pre-calentamiento)
- C) Agua tratada (enfriamiento)
- D) Agua de torre (enfriamiento)
- E) Agua fría (enfriamiento)

Para elaborar los balances de calor es necesario calcular la capacidad calorífica de la leche (C_p) a las concentraciones de sólidos grasos, sólidos no grasos y contenido de agua establecidas:

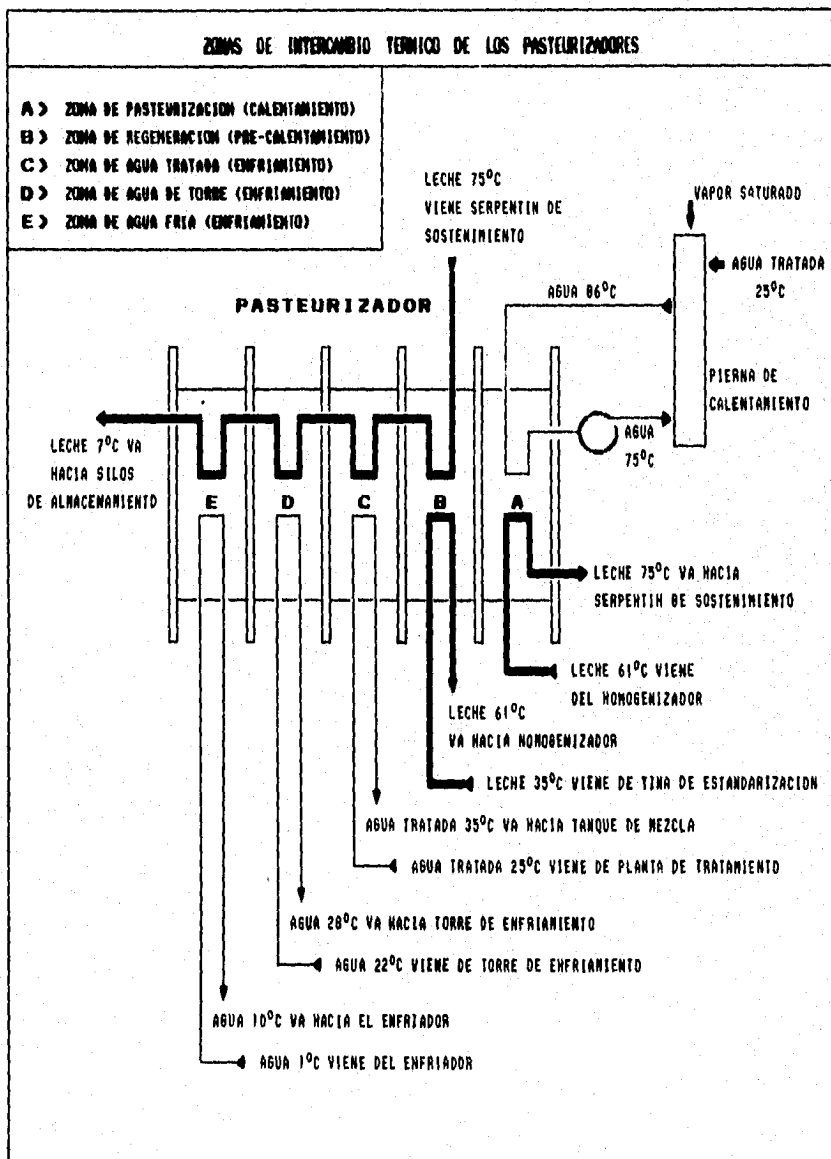
Agua potable:	88.90%
Sólidos totales (ST) :	11.10%
Sólidos no grasos (SNG) :	8.10%
Sólidos grasos (SG) :	3.00%
Densidad :	1.0300 kg/lit

$$C_p = 2.094 X_{\text{Agua}} + 1.256 X_{\text{SNG}} + 4.187 X_{\text{SG}} \quad [=] \text{kJoule/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_p = 2.094(0.03) + 1.256(0.081) + 4.187(0.889)$$

$$C_p = \underline{3.887} \text{ kJoule/kg } ^\circ\text{C} = \underline{0.928} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

FIGURA 2.4



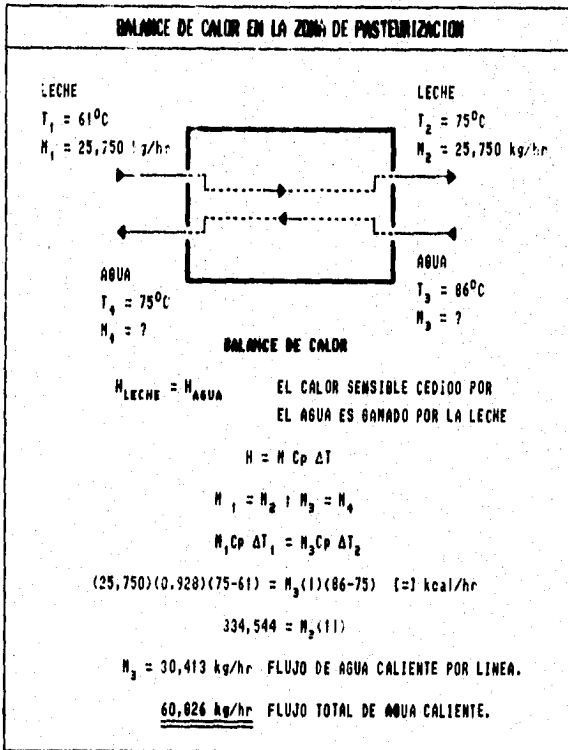
A) Pasteurización (calentamiento)

En esta zona la leche "cruda" que proviene del homogenizador se calienta hasta alcanzar la temperatura de pasteurización a 75°C

El medio de calentamiento es agua que es calentada con vapor saturado en una columna ó pierna de calentamiento (ver figura 2.4).

Un balance de calor nos permite conocer los flujos de agua caliente y vapor necesarios para la pasteurización de la leche en cada uno de los pasteurizadores.

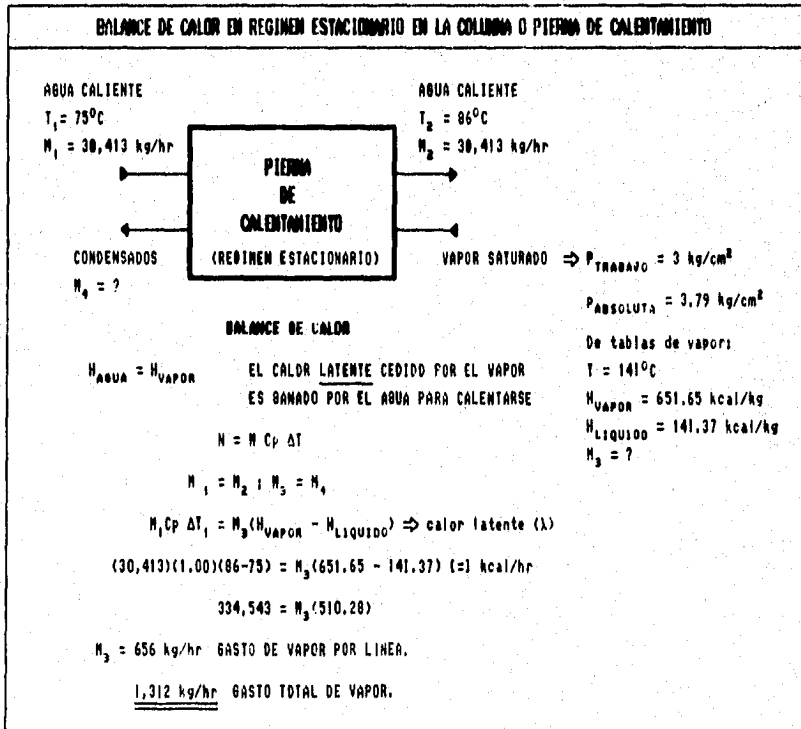
FIGURA 2.5



Necesidades de vapor.

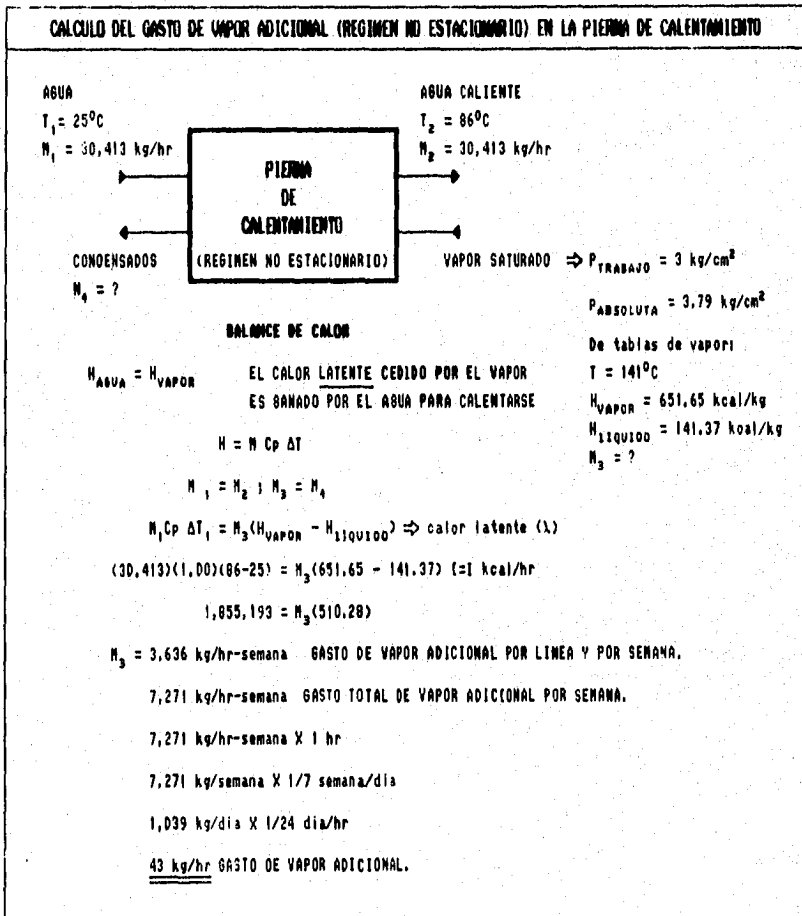
El consumo de agua caliente que se utiliza para pasteurizar la leche tiene que mantenerse a una temperatura de 85°C -una vez que se ha alcanzado el régimen estacionario- en la pierna de calentamiento (ver figura 2.4), para este fin se utiliza vapor saturado por lo que es necesario conocer el consumo de este, cabe mencionar que cuando se interrumpe el proceso de pasteurización para limpieza de los equipos, la alimentación de vapor al sistema es continua ya que también la limpieza se efectúa con agua caliente. La presión de trabajo en la pierna de calentamiento es de 3 kg/cm², el vapor saturado una vez que ha cedido su calor latente se transforma en líquido saturado (condensados), el cálculo se describe en la siguiente figura:

FIGURA 2.6



Para efectos de costos, se necesita efectuar un cálculo adicional de consumo de vapor cada vez que el proceso de pasteurización este fuera del régimen estacionario, es decir cada vez que se tenga que calentar el agua de temperatura ambiente hasta 85°C (esto ocurre sólo una vez por semana cuando se realizan los arranques de producción y dura aproximadamente una hora), el resultado obtenido se tiene que adicionar al consumo de este servicio cuando el proceso está en régimen estacionario.

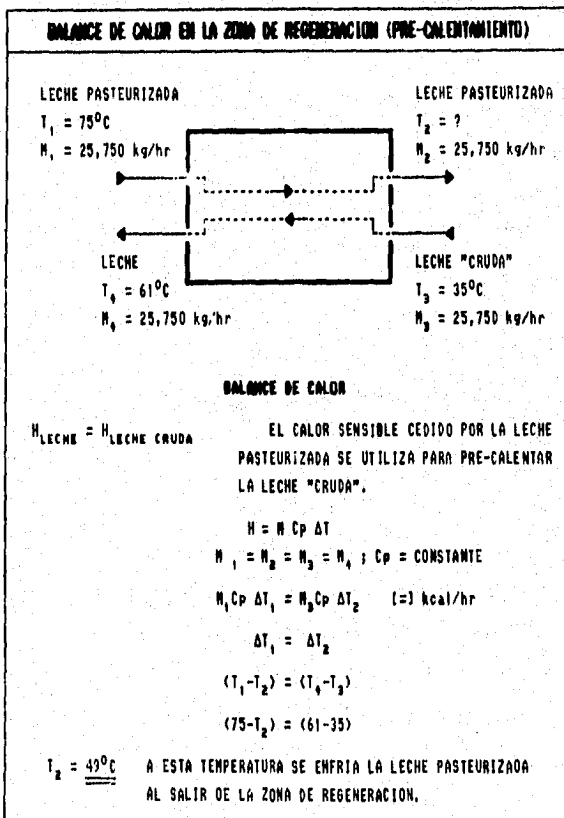
FIGURA 2.6A



B) REGENERACION (pre-calentamiento)

En esta zona empieza el enfriamiento de la leche pasteurizada, el medio de enfriamiento es leche que proviene de las tinas de estandarización que a su vez se pre-calienta (ver figura 2.4), de esta forma se aprovecha el calor sensible que va perdiendo la leche pasteurizada. El balance de calor nos permite conocer la temperatura de enfriamiento de la leche pasteurizada.

FIGURA 2.7

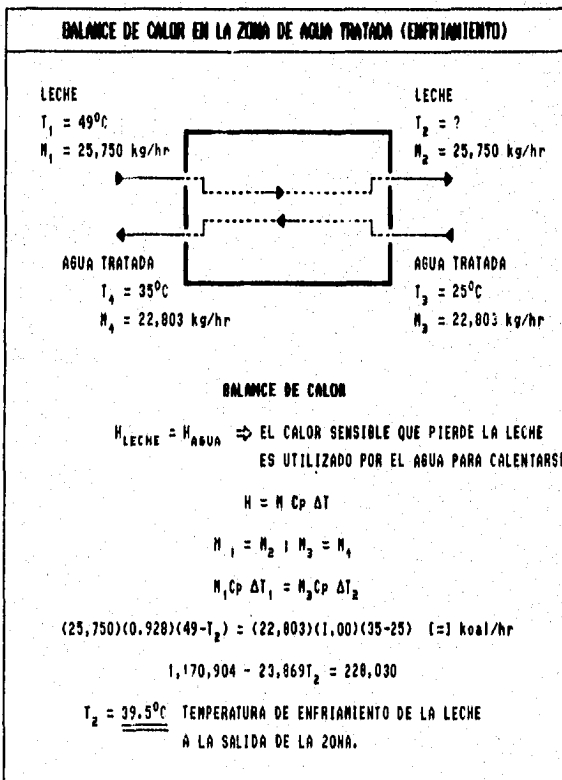


C) AGUA TRATADA (enfriamiento)

En esta zona se sigue enfriando la leche pasteurizada que proviene de la zona de regeneración, el medio de enfriamiento es agua tratada que a su vez se calienta para ser utilizada en el proceso (ver figura 2.4).

El balance de calor permite conocer a que temperatura se enfría la leche al salir de esta zona.

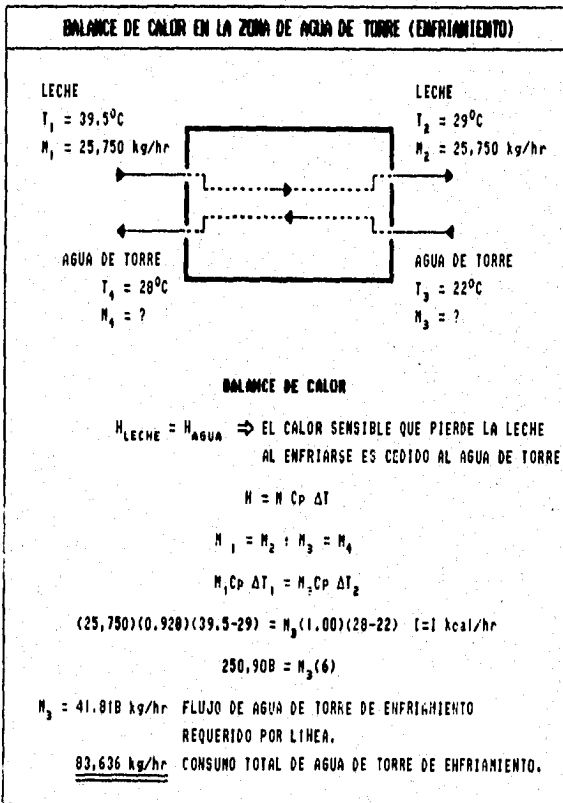
FIGURA 2.8



D) AGUA DE TORRE (enfriamiento)

En esta zona se sigue bajando la temperatura a la leche pasteurizada que proviene de la zona de agua tratada hasta alcanzar 28°C (ver figura 2.4), utilizando agua que proviene de una torre de enfriamiento. Con un balance de calor se calcula el flujo de agua de torre a utilizarse.

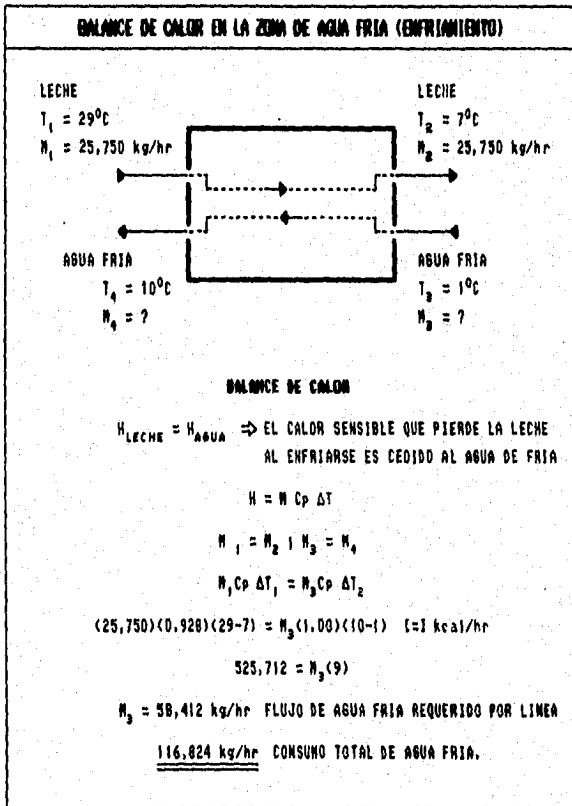
FIGURA 2.9



E) AGUA FRIA (enfriamiento)

Esta es la última zona de enfriamiento de la leche donde alcanza la temperatura de 7°C para después almacenarse, el medio de enfriamiento es agua fría que proviene de un enfriador (ver figura 2.4). El balance de calor permite conocer los requerimientos de agua fría, así como las toneladas de refrigeración requeridas en el enfriador para mantener el agua a 1°C.

FIGURA 2.10



Toneladas de refrigeración

Para obtener las toneladas de refrigeración, se consideran dos cálculos: el cálculo inicial en régimen no estacionario, es decir cuando hay que enfriar el agua de servicio de temperatura ambiente (25°C) hasta 1°C (esta etapa se presenta sólo una vez por semana cuando se realizan los arranques de producción y dura aproximadamente 1.5 hrs). Y el cálculo para mantener el agua de servicio dentro del enfriador a 1°C cuando el proceso alcanza el régimen estacionario.

Cálculo inicial (régimen no estacionario):

El calor inicial que se tiene que eliminar en el enfriador para bajar la temperatura del agua de servicio de 25°C hasta 1°C es el siguiente:

$$Q = m C_p (T_o - T_f)$$

Flujo de agua de servicio : 116,824 kg/hr

$$Q = (116,824)(1)(25-1) [=] \text{ kcal/hr-semana}$$
$$Q = 2,803,776 \text{ kcal/hr-semana} \times 1.5 \text{ hr}$$
$$Q = 4,205,664 \text{ kcal/semana} \times 1/7 \text{ semana/día}$$
$$Q = 600,809 \text{ kcal/día} \times 1/24 \text{ día/hr}$$
$$Q = 25,034 \text{ kcal/hr}$$
$$Q = 8 \text{ Toneladas iniciales.}$$

Cálculo en régimen estacionario:

El calor que se tiene que eliminar una vez que se alcanza el régimen estacionario para mantener la temperatura del agua de servicio en 1°C dentro del enfriador es el siguiente:

$$Q = m C_p (T_o - T_f)$$

Flujo de agua de servicio : 116,824 kg/hr

$$Q = (116,824)(1)(10-1) [=] \text{ kcal/hr}$$
$$Q = 1,051,416 \text{ kcal/hr}$$
$$Q = 348 \text{ Toneladas de refrigeración}$$

Cálculo total:

$$Q = 8 + 348$$
$$Q = \underline{356} \text{ Toneladas de refrigeración requeridas para enfriar la leche reconstituida.}$$

Área de transferencia en los pasteurizadores

Para finalizar con la aplicación de los balances de calor una vez que se han calculado las necesidades de servicios y perfiles de temperaturas, el siguiente paso es calcular el área de transferencia de calor (número de placas) en las zonas de intercambio de los pasteurizadores, con la finalidad de comparar el área que se utiliza para la producción actual y la requerida cuando se aumente la capacidad. La metodología de cálculo es la siguiente:

En los pasteurizadores la transferencia de calor se establece por la combinación de dos mecanismos de transferencia: conducción y convección, y se rige por un coeficiente global de transferencia de calor (U), una área de transferencia al flujo de calor (A) y una diferencia de temperaturas (LMTD) usando la ecuación:

$$Q = U A \text{ LMTD}$$

Donde:

Q = flujo de calor, [=] kcal/hr

A = área de transferencia [=] m²

U = coeficiente global de transferencia de calor, [=] kcal/hr m² °C

LMTD = media logarítmica de la diferencia de temp. en los extremos de la zona de intercambio
[=] °C

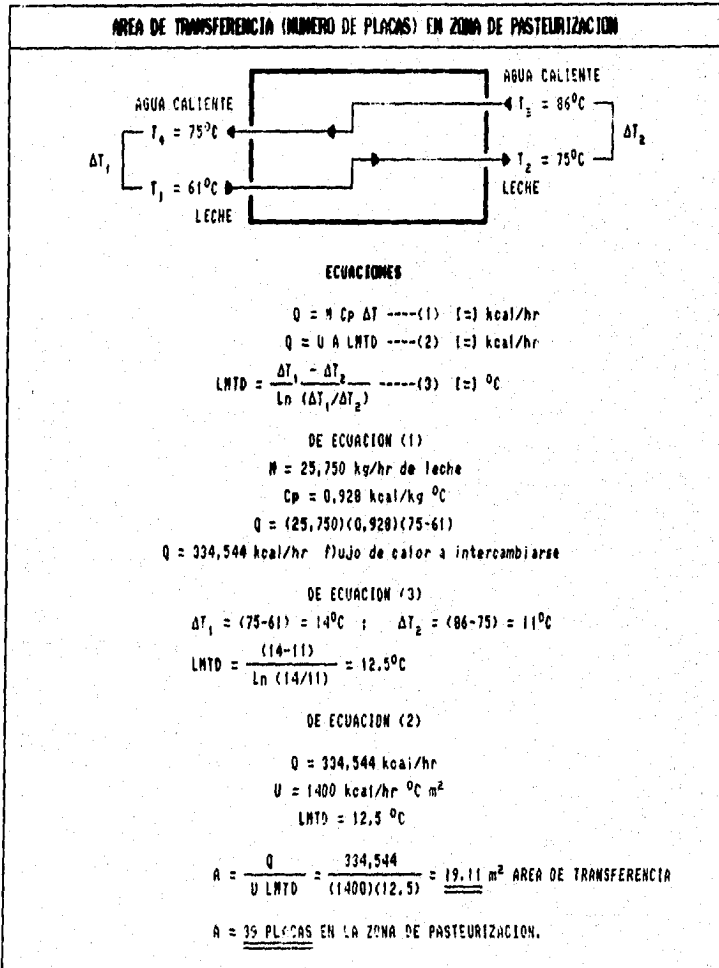
Es importante calcular el valor de la LMTD ya que existen variaciones en los perfiles de temperaturas a medida que los fluidos en contacto se desplazan a través de las zonas de intercambio. (14)

De la ecuación anterior se puede conocer el valor del área de transferencia (número de placas) necesaria para cada zona del pasteurizador partiendo de un valor conocido del coeficiente de transferencia (U), para ello se toma como referencia el valor más alto proporcionado por el fabricante APV CREPACD INC. dentro del rango de 850 a 1,400 kcal/hr m² °C, cada una de las placas de los pasteurizadores tienen 0.5 m² de área de transferencia. (15)

Area de transferencia en la zona de pasteurización

El contacto térmico entre leche-agua caliente es a contraflujo. Del balance de calor (ver figura 2.5) y de la ecuación de transferencia se tiene:

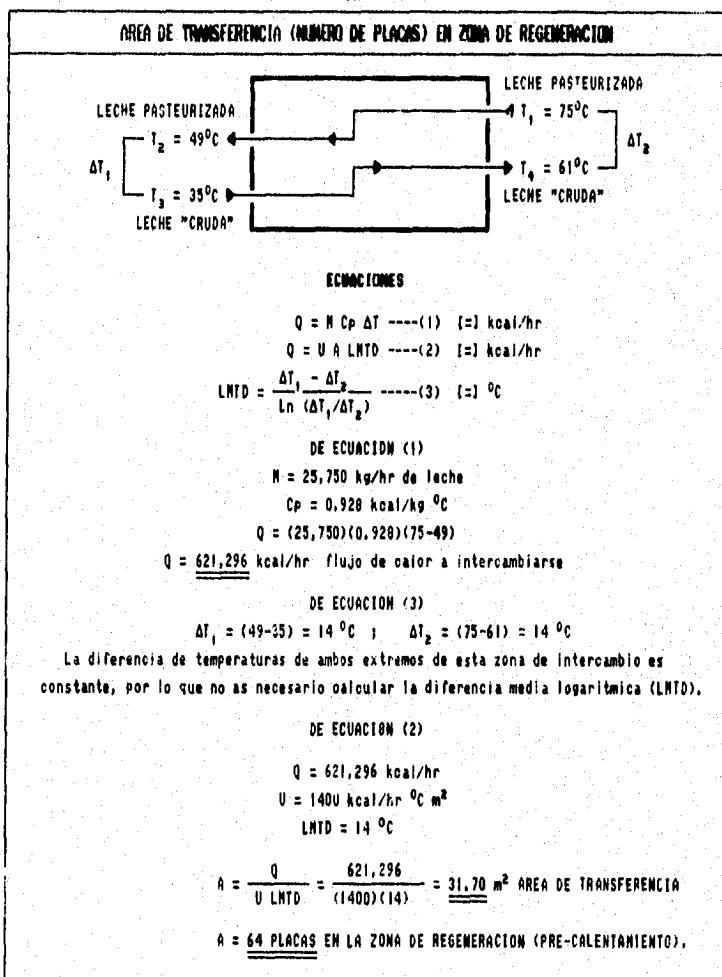
FIGURA 2.11



Area de transferencia en la zona de regeneración

El contacto térmico entre leche pasteurizada-leche "cruda" es a contraflujo. Del balance de calor (ver figura 2.7) y de la ecuación de transferencia se tiene:

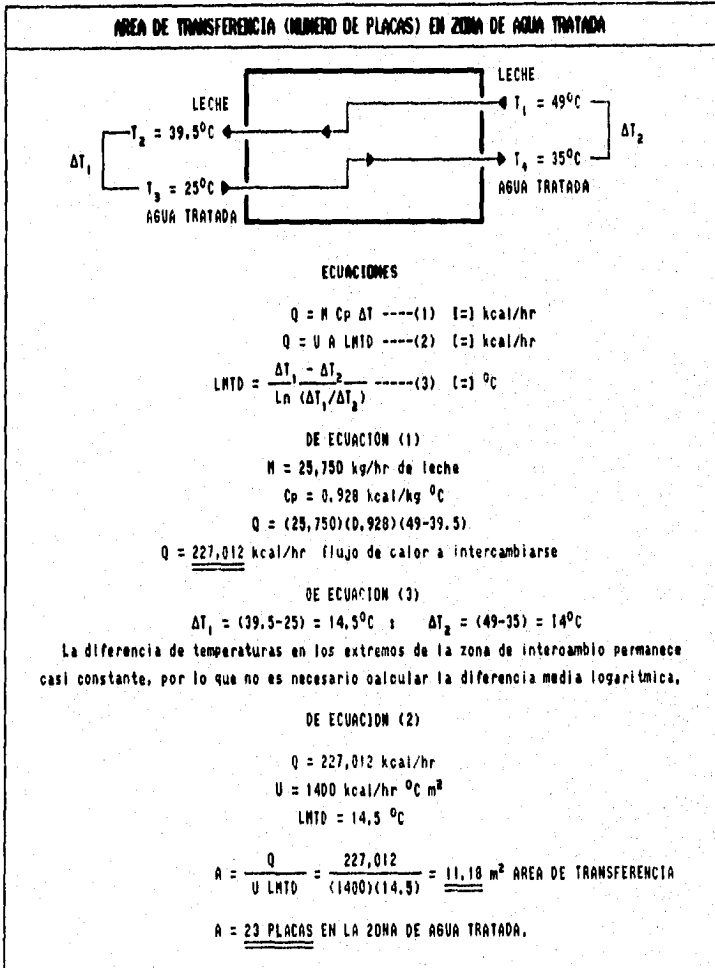
FIGURA 2.12



Area de transferencia en la zona de agua tratada

El contacto térmico entre leche-agua tratada es a contraflujo. Del balance de calor (ver figura 2.8) y de la ecuación de transferencia se tiene:

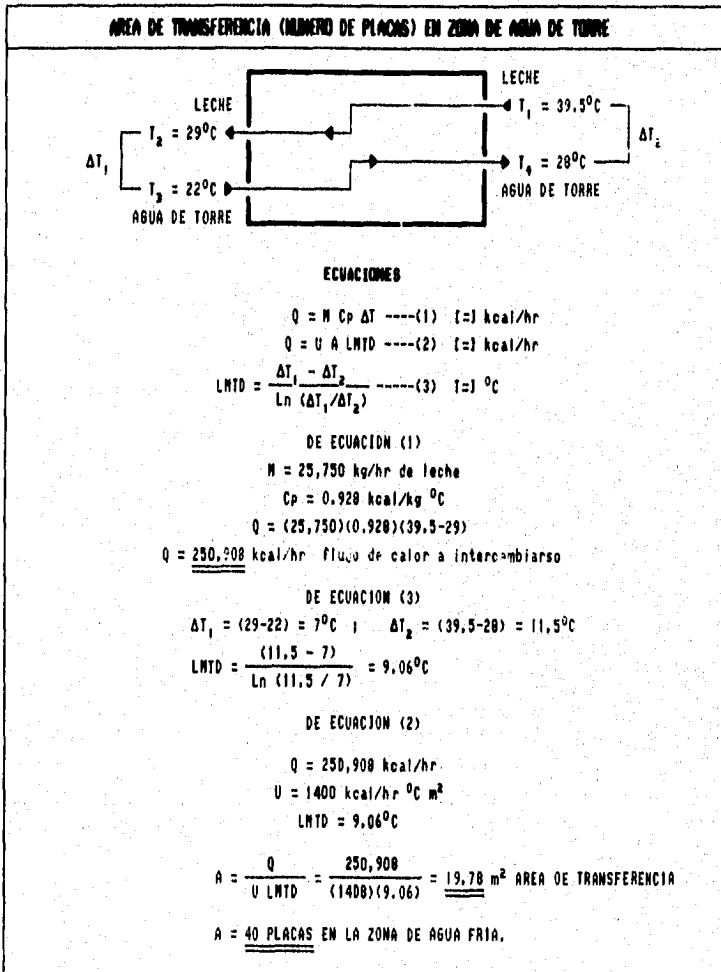
FIGURA 2.13



Area de transferencia en la zona de agua de torre

El contacto térmico entre leche-agua de torre es a contraflujo. Del balance de calor (ver figura 2.9) y de la ecuación de transferencia se tiene:

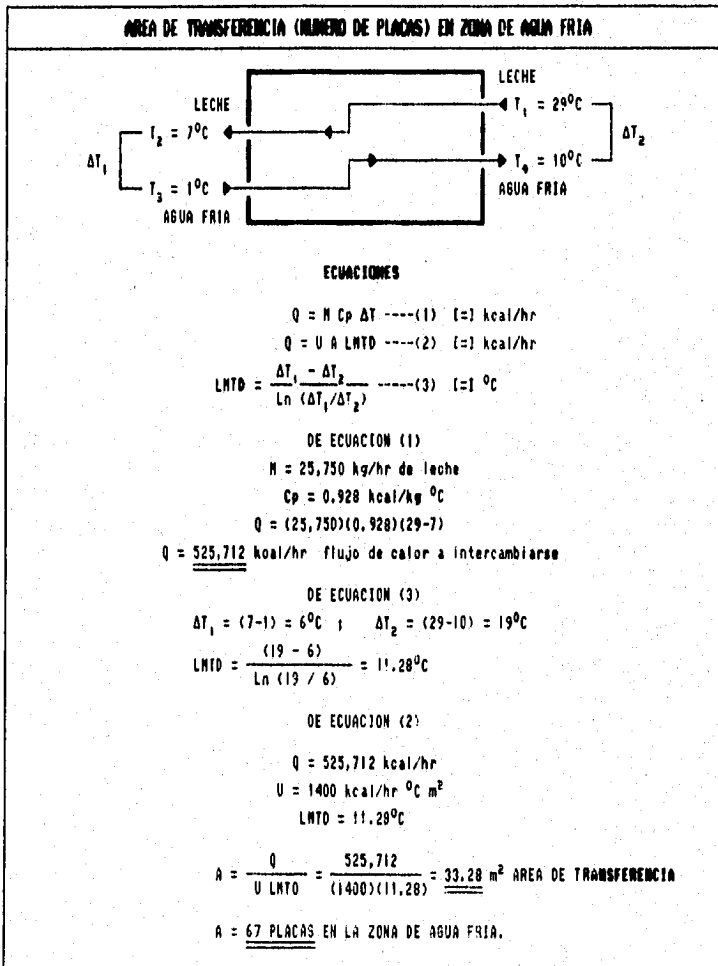
FIGURA 2.14



Area de transferencia en la zona de agua fria

El contacto térmico entre leche-agua fria es a contraflujo. Del balance de calor (ver figura 2.10) y de la ecuación de transferencia se tiene:

FIGURA 2.15



Los resultados obtenidos del balance de energía aplicado a las zonas de intercambio térmico de los pasteurizadores (calentamiento-enfriamiento de la leche), se resumen en el cuadro 2.3 donde se muestran las condiciones de temperatura y flujo másico de los fluidos de servicio, así como el área de transferencia de calor, para producir 50,000 lt/hr de leche reconstituida.

CUADRO 2.3

BALANCE DE CALOR PARA PRODUCIR 50,000 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA				
ZONAS DE LOS PASTEURIZADORES Y FLUIDO DE SERVICIO	FLUJO MASICO (kg/hr)	CONDICIONES DE TEMPERATURA °C		AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS PASTEURIZADORES (NUMERO DE PLACAS POR ZONA)
		ENTRADA	SALIDA	
PASTEURIZACION - AGUA CALIENTE	60,826	86	75	39
REGENERACION - LECHE "CRUDA"	51,500	35	61	64
ENFRIAMIENTO - AGUA TRATADA	45,607	25	35	23
ENFRIAMIENTO - AGUA DE TORNE	81,635	22	20	40
ENFRIAMIENTO - AGUA FRIA	116,824	1	10	67

Las necesidades de servicios (vapor, agua tratada, agua de enfriamiento y refrigeración) calculados para la producción de 50,000 lt/hr de leche reconstituida se resumen en el cuadro 2.4 y se muestran en las gráficas del cuadro 2.5 donde se observa que las necesidades no exceden la capacidad instalada en la planta para la generación de los mismos.

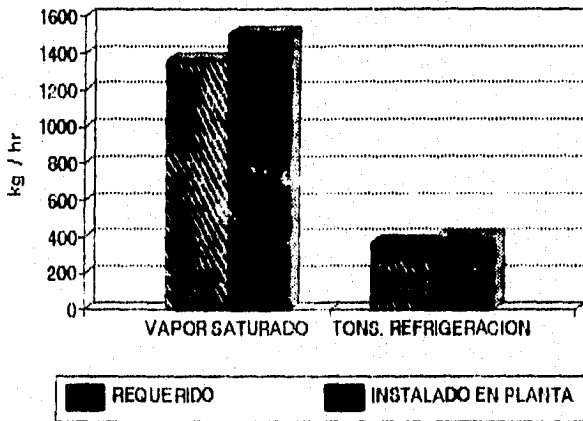
CUADRO 2.4

NECESIDADES DE SERVICIOS PARA LA PRODUCCION DE 50,000 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA		
SERVICIOS	FLUJO MASICO (kg/hr)	
	INSTALADO EN PLANTA	REQUERIDO
VAPOR SATURADO	1,500	1,355
AGUA TRATADA	80,000	45,607
AGUA DE TORRE	110,000	83,636
TONELADAS DE REFRIGERACION	390	356

CUADRO 2.5

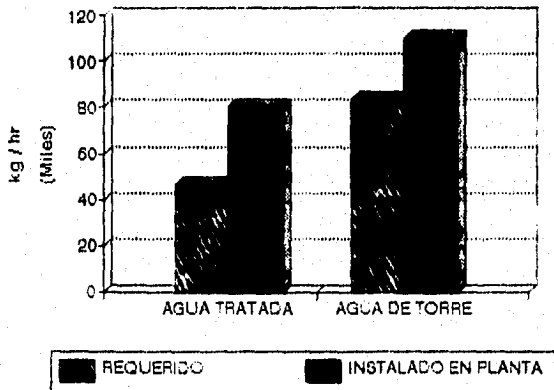
NECESIDADES DE SERVICIOS

50,000 lt/hr leche reconstituída



NECESIDADES DE SERVICIOS

50,000 lt/hr leche reconstituída



CAPITULO TRES

PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA PARA AUMENTAR LA PRODUCCION

	PAGINA
3.1 PROPUESTA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCION EN LAS LINEAS DE PROCESO.	49
3.2 NECESIDADES DE MATERIALES Y ENERGIA PARA LA NUEVA CAPACIDAD.	51
3.2.1 BALANCE DE MATERIALES.	52
3.2.2 BALANCE DE ENERGIA.	55
3.3 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS EN MATERIAS PRIMAS Y SERVICIOS ENTRE LA CAPACIDAD INSTALADA Y EL AUMENTO DE PRODUCCION.	
3.3.1 MATERIAS PRIMAS.	65
3.3.2 SERVICIOS.	67
3.4 EVALUACION DE CAIDA DE PRESION Y COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS PASTEURIZADORES.	
3.4.1 CAIDA DE PRESION.	71
3.4.2 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	88
3.5 NECESIDADES DE EQUIPO ADICIONAL PARA AUMENTAR LA PRODUCCION.	105

3.1 PROPUESTA PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCION EN LAS LINEAS DE PROCESO.

Como se plantea al principio de este trabajo, el objetivo es aumentar la capacidad instalada de producción de leche reconstituida en un 58.82 % debido a un aumento en el padrón de consumidores, respaldado con una capacidad de distribución del producto que actualmente es mayor a la de producción (vease el cuadro 2.1).

El aumento en el volumen de producción (de 850,000 a 1'350,000 litros diarios) debe de efectuarse de una forma sencilla y con un mínimo de inversión. Para ello se plantea una modificación al proceso, ya que proponer la instalación de una tercera línea de producción -actualmente existen dos- incrementaría considerablemente los costos de inversión, además de no contar con el espacio suficiente dentro del área de proceso para su instalación.

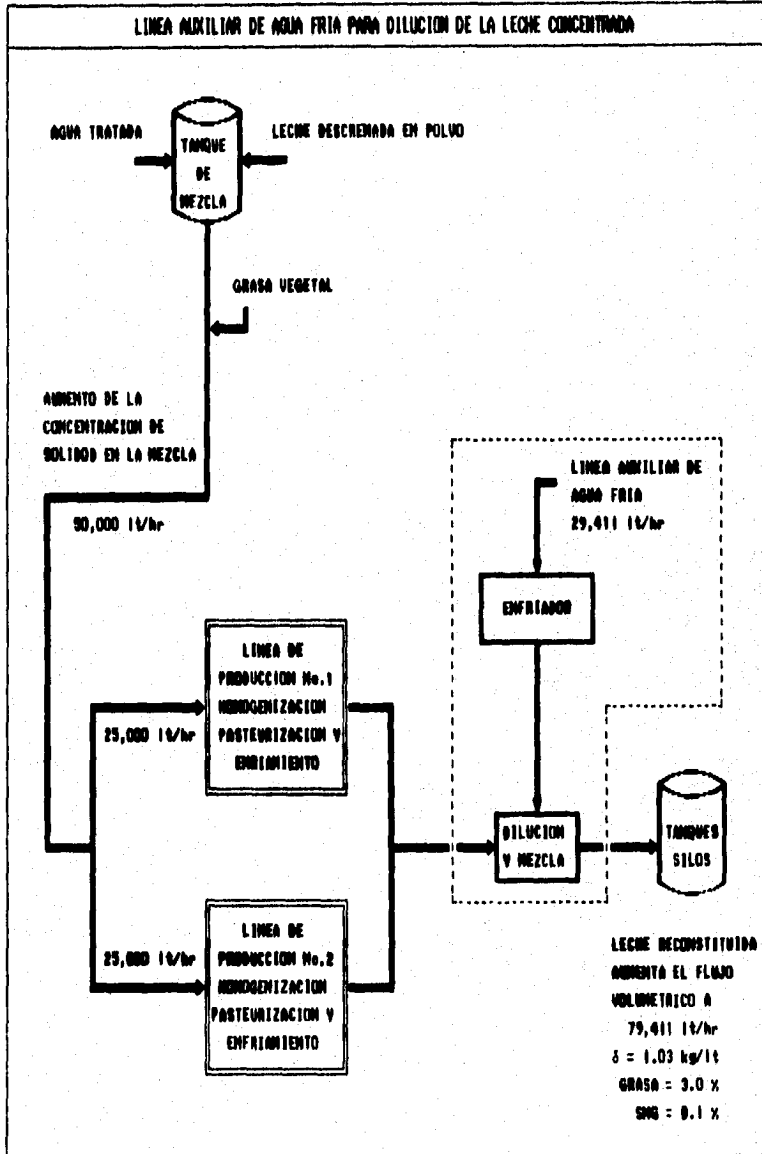
Incrementar el flujo en las líneas de producción dentro de las etapas críticas del proceso (disolución, homogenización, pasteurización y enfriamiento) tiene una limitante: la capacidad de diseño de los equipos (25,000 lt/hr), por lo tanto aumentar el flujo en las líneas sería prácticamente imposible.

Por lo anterior, se propone como alternativa para aumentar la capacidad de producción lo siguiente:

En los equipos de proceso (homogenizadores y pasteurizadores) es factible aumentar la concentración de sólidos de leche hasta un valor tal que no se presenten problemas operativos y que al mismo tiempo se aumente el flujo másico y por tanto se tenga un flujo de leche "concentrada", la cual se homogeniza, pasteuriza y se enfría en dichos equipos. Partiendo de esta propuesta, es posible aumentar el flujo volumétrico que sale de las líneas adicionando agua y simultáneamente diluir la mezcla para bajar el contenido de sólidos hasta los valores marcados por los estándares de calidad establecidos para la leche reconstituida (vease cuadro 1.1).

Para la dilución de la leche "concentrada" se propone utilizar una línea auxiliar de agua fría que cumpla con las normas de calidad para agua potable (vease cuadro 1.5), dicha línea y la modificación al proceso se esquematiza en el diagrama de la figura 3.1.

FIGURA 3.1



3.2 NECESIDADES DE MATERIALES Y ENERGIA PARA LA NUEVA CAPACIDAD

El diagrama de la figura 3.1 esquematiza el incremento en las líneas de producción de leche en un 58.82 % , es decir aumenta el flujo volumétrico razón de 79,411 lt/hr mediante la concentración de sólidos en la mezcla y su posterior dilución con agua fría (línea auxiliar de 29,411 lt/hr).

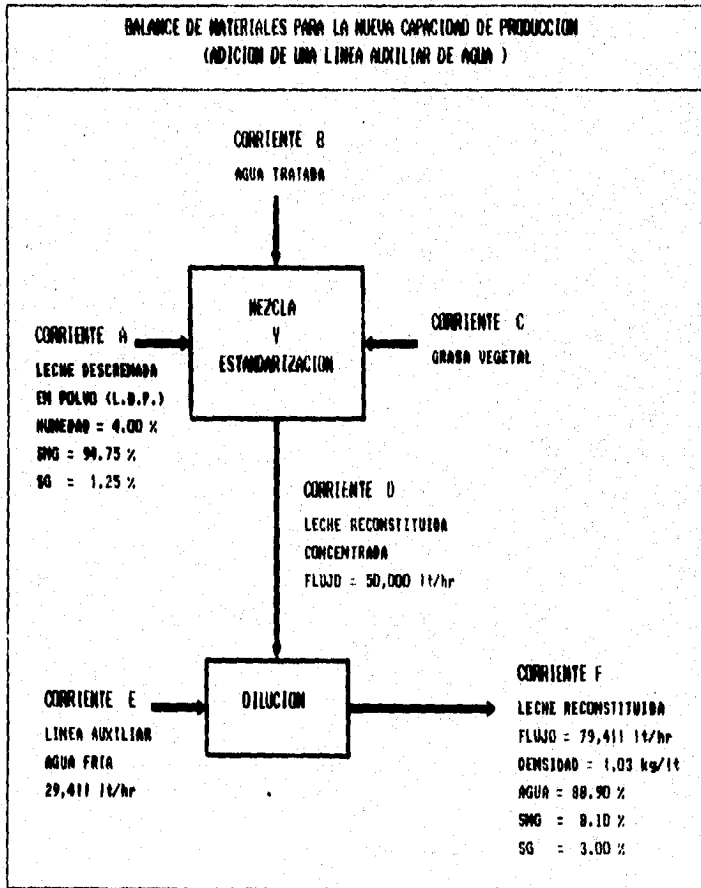
Es necesario conocer las necesidades de materiales y energía (insumos y servicios) para el nuevo ritmo producción aplicando balances al diagrama de la figura 3.1. para que posteriormente se comparen contra los requerimientos que actualmente se utilizan, y formular una estimación de costos de materias primas, servicios y equipo adicional para el aumento de producción.

También con los balances se conoce hasta qué valor se aumentará la concentración de sólidos en la mezcla para que, por un lado cuando se adicione agua a la leche se alcance una densidad de 1.03 kg/lt con 3.0 % y 8.1 % de sólidos grasos y no grasos respectivamente (vease cuadro 1.1), y por otro lado, se realice una evaluación en las condiciones operativas de los pasteurizadores (transferencia de calor y caída de presión) al aumentar la concentración de sólidos en el flujo.

3.2.1 BALANCE DE MATERIALES

El nuevo ritmo de producción será de 79,411 lt/hr de leche reconstituida con la misma composición que marca la normatividad oficial (ver cuadro 1.1), el balance se describe en la figura 3.2 introduciendo la línea auxiliar de agua.

FIGURA 3.2



Del balance de materia planteado en la figura 3.2 se obtienen las cantidades requeridas de insumos para la producción de 79,411 lt/hr (81,793 kg/hr) de leche reconstituida las cuales se resumen en el cuadro 3.1

Leche descremada en polvo

$$\begin{aligned}AX_{\text{leche}} &= FX_{\text{leche}} \\A(0.9475) &= (81,793)(0.0810) \\A &= \underline{6,992} \text{ kg/hr}\end{aligned}$$

Agua tratada

$$\begin{aligned}AX_{\text{agua}} + B + E &= FX_{\text{agua}} \\(6,992)(0.04) + B + 29,411 &= (81,793)(0.8890) \\B &= 43,023 \text{ kg/hr} \\B + E &= \underline{72,434} \text{ kg/hr}\end{aligned}$$

Grasa vegetal

$$\begin{aligned}AX_{\text{gr}} + C &= FX_{\text{gr}} \\(6,992)(0.0125) + C &= (81,793)(0.03) \\C &= \underline{2,366} \text{ kg/hr}\end{aligned}$$

Cálculo de la densidad y concentración de sólidos en la leche concentrada (corriente D)

Densidad

$$\begin{aligned}\text{Densidad} &= \text{masa/volumen} \\A + B + C &= D \text{ [=] kg/hr} \\6,992 + 43,023 + 2,366 &= D \\D &= \underline{52,381} \text{ kg/hr} \\Densidad &= 52,381/50,000 \text{ [=] kg/lt} \\Densidad &= \underline{1.047} \text{ kg/lt}\end{aligned}$$

Sólidos no grasos (sng)

$$\begin{aligned}AX_{\text{sng}} &= DX_{\text{sng}} \\(6,992)(0.9475) &= (52,381)X_{\text{sng}} \\X_{\text{sng}} &= \underline{0.1265} = \underline{12.65} \%\end{aligned}$$

Sólidos grasos (sg)

$$\begin{aligned}AX_{\text{gr}} + C &= DX_{\text{gr}} \\(6,992)(0.04) + 2,366 &= (52,381)X_{\text{gr}} \\X_{\text{gr}} &= \underline{0.0469} = \underline{5.05} \%\end{aligned}$$

CUADRO 3.1

**REQUERIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS PARA LA NUEVA CAPACIDAD DE
PRODUCCION : 79,411 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA**

LECHE DESCREMADA EN POLVO	6,992 kg/hr	8.55 %
GRASA VEGETAL	2,366 kg/hr	2.89 %
AGUA TRATADA	72,435 kg/hr	88.56 %
<hr/>		
TOTALES	81,793 kg/hr	100.00 %

En base a la densidad establecida por la normatividad del producto terminado (1.0300 kg/lt), el flujo másico total de 81,793 kg/hr equivale a los 79,411 lt/hr de leche reconstituida.

3.2.2 BALANCE DE ENERGIA

Los principios y metodología utilizada para los cálculos en los balances de energía para la capacidad instalada (ver subcapítulo 2.3.2) son similares para el aumento de producción, sólo cambian algunas condiciones de la leche concentrada como densidad, concentración, flujo másico y capacidad calorífica (Cp).

Capacidad calorífica (Cp)

Para los balances de calor es necesario calcular el nuevo valor de la capacidad calorífica de la leche concentrada de acuerdo a los valores de sólidos grasos y no grasos y el contenido de agua (ver cálculos de la corriente D del balance de materiales):

Leche concentrada

Densidad :	1.047 kg/lt	
Contenido de agua :	43,110 kg/hr	82.30 %
Sólidos grasos :	2,645 kg/hr	5.05 %
Sólidos no grasos :	6,626 kg/hr	12.65 %
Flujo másico :	52,381 kg/hr	100.00 %

Cálculo de la capacidad calorífica para la leche concentrada en función del contenido de sólidos: (16)

$$C_p = 2.094 X_{su} + 1.256 X_{nu} + 4.187 X_{agua} [=] \text{kJoule/kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p = (2.094)(0.0505) + (1.256)(0.1265) + (4.187)(0.8230)$$

$$C_p = \underline{3.710} \text{ kJoule/kg}^\circ\text{C} = \underline{0.886} \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

En los balances de calor aplicados a las etapas de pasteurización, regeneración y enfriamiento (agua tratada, agua de torre y agua fría) de la leche, se emplea -como ya se dijo- la misma metodología de cálculo que se utilizó para la capacidad instalada (ver capítulo dos, figuras 2.5 a 2.10 y figuras 2.11 a 2.15), sólo cambian las condiciones de flujo (mayor concentración, densidad y masa) y la capacidad calorífica de la leche, sin embargo, las temperaturas de trabajo en las etapas de intercambio permanecen constantes. A continuación sólo se presentan los resultados obtenidos de los balances de calor para la nueva capacidad de producción:

Zona de pasteurización

Volumen : 50,000 lt/hr leche concentrada
Flujo másico : 52,381 kg/hr
Flujo másico por línea : 26,190 kg/hr
Densidad : 1.047 kg/lt
Cp : 0.886 kcal/kg°C
Flujo de agua caliente por línea : 29,533 kg/hr
Flujo total de agua caliente : 59,066 kg/hr

necesidades de vapor

Flujo : 1,274 kg/hr (régimen estacionario)
Flujo adicional : 42 kg/hr (régimen no estacionario)
Flujo por línea : 658 kg/hr
Flujo total : 1,316 Kg/hr

Zona de regeneración

Temperatura de salida de leche concentrada y pasteurizada : 49°C

Zona de agua tratada

Temperatura de salida de leche concentrada y pasteurizada : 39.7°C

Zona de agua de torre

Volumen : 50,000 lt/hr leche concentrada
Flujo másico : 52,381 kg/hr
Flujo másico por línea : 26,190 kg/hr
Densidad : 1.047 kg/lt
Cp : 0.886 kcal/kg°C
Flujo de agua de torre por línea : 41,381 kg/hr
Flujo total de agua de torre : 82,762 kg/hr

Zona de agua fría

Volumen : 50,000 lt/hr leche concentrada
Flujo másico : 52,381 kg/hr
Flujo másico por línea : 26,190 kg/hr
Densidad : 1.047 kg/lt
Cp : 0.886 kcal/kg°C
Flujo de agua fría por línea : 56,722 kg/hr
Flujo total de agua fría : 113,444 kg/hr

Toneladas de refrigeración

Para enfriar la leche concentrada :

Cálculo inicial (régimen no estacionario):

El calor inicial que se tiene que eliminar en el enfriador para bajar la temperatura del agua de servicio de 25°C hasta 1°C (ocurre una vez por semana cuando se realizan los arranques de producción y el proceso dura aproximadamente 1.5 hrs.) es el siguiente :

$$Q = m C_p (T_o - T_i)$$

Flujo de agua de servicio : 113,444 kg/hr

$$Q = (113,444)(1)(25 - 1) [=] \text{ kcal/hr-semana}$$

$$Q = 2,722,656 \text{ kcal/hr-semana} \times 1.5 \text{ hr}$$

$$Q = 4,083,984 \text{ kcal/semana} \times 1/7 \text{ semana/día}$$

$$Q = 583,426 \text{ kcal/día} \times 1/24 \text{ día/hr}$$

$$Q = 24,309 \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 8 \text{ Toneladas iniciales}$$

Cálculo en régimen estacionario:

El calor que se tiene que eliminar una vez que se alcanza el régimen estacionario para mantener la temperatura del agua de servicio en 1°C dentro del enfriador es el siguiente :

$$Q = m C_p (T_o - T_i)$$

Flujo de agua de servicio : 113,444 kg/hr

$$Q = (113,444)(1)(10 - 1) [=] \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 1,020,996 \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 338 \text{ Toneladas de refrigeración}$$

Cálculo total :

$$Q = 8 + 338$$

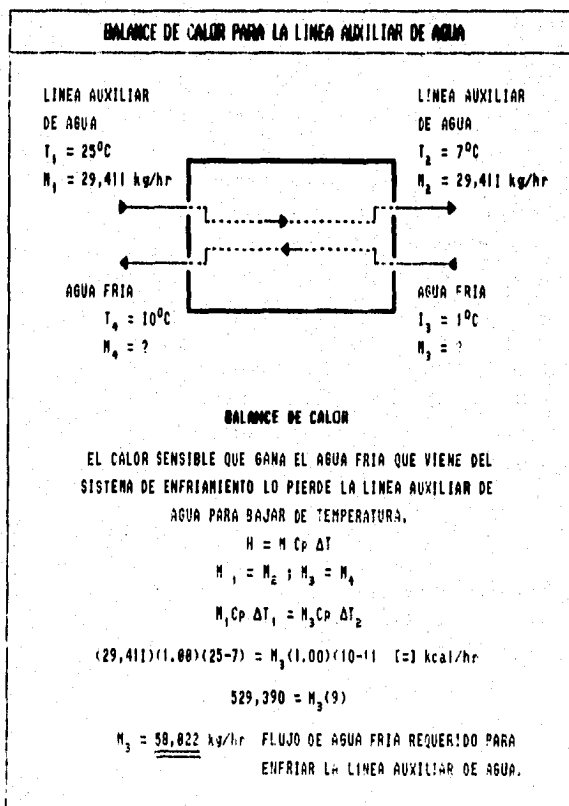
$Q = 346$ Toneladas de refrigeración requeridas para enfriar la leche concentrada.

Balance de calor para la línea auxiliar de agua

La adición de la línea auxiliar de agua al proceso para diluir la leche concentrada (ver diagrama de la figura 3.1) tiene que enfriarse de temperatura ambiente hasta 7°C (que es la temperatura de almacenamiento de la leche reconstituida) en un enfriador de placas utilizando agua fría a contracorriente la cual a su vez vendrá de un sistema de producción de frío.

Para conocer la cantidad de agua fría a emplearse, así como las toneladas de refrigeración necesarias para bajar la temperatura de la línea auxiliar de agua, será necesario plantear un balance de calor como se muestra en la figura 3.3

FIGURA 3.3



Toneladas de refrigeración

Para enfriar la línea auxiliar de agua

Cálculo inicial (régimen no estacionario):

El calor inicial que se tiene que eliminar en el sistema de enfriamiento para bajar la temperatura del agua de servicio de 25°C hasta 1°C (ocurre una vez por semana cuando se realizan los arranques de producción y considerando que el proceso dura aproximadamente 1.5 hrs.) es el siguiente :

$$Q = m C_p (T_o - T_f)$$

Flujo de agua de servicio : 58,822 kg/hr

$$Q = (58,822)(1)(25 - 1) [=] \text{ kcal/hr-semana}$$

$$Q = 1,411,728 \text{ kcal/hr-semana} \times 1.5 \text{ hr}$$

$$Q = 2,117,592 \text{ kcal/semana} \times 1/7 \text{ semana/día}$$

$$Q = 302,513 \text{ kcal/día} \times 1/24 \text{ día/hr}$$

$$Q = 12,605 \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 4 \text{ Toneladas iniciales}$$

Cálculo en régimen estacionario:

El calor que se tiene que eliminar una vez que se alcanza el régimen estacionario para mantener la temperatura del agua de servicio en 1°C dentro del sistema de enfriamiento es el siguiente :

$$Q = m C_p (T_o - T_f)$$

Flujo de agua de servicio : 58,822 kg/hr

$$Q = (58,822)(1)(10 - 1) [=] \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 529,398 \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 175 \text{ Toneladas de refrigeración}$$

Cálculo total :

$$Q = 4 + 175$$

Q = 179 Toneladas de refrigeración requeridas para enfriar la línea auxiliar de agua.

Area de transferencia de calor (número de placas) en los pasteurizadores

Los principios y metodología aplicada para el cálculo del número de placas (área de transferencia) en los pasteurizadores para la capacidad instalada (ver capítulo dos figuras 2.11 a 2.15), se pueden aplicar para los cálculos con leche concentrada puesto que se trata del mismo equipo de intercambio de calor con las mismas temperaturas de trabajo, sólo existen cambios en el flujo másico, capacidad calorífica y densidad de la leche.

Leche concentrada:

Densidad = 1.047 kg/lt

Capacidad calorífica = 0.886 kcal/kg°C

Flujo másico por línea = 26,190 kg/hr

Flujo másico total = 52,381 kg/hr

Flujo volumétrico = 50,000 lt/hr

Coefficiente global de transferencia

de los pasteurizadores $U = 1,400 \text{ kcal/hr } ^\circ\text{C m}^2$

Area de transferencia por placa = 0.5 m^2

Ecuaciones de transferencia:

$$Q = m C_p (T_1 - T_2)$$

$$Q = U A \text{ LMTD}$$

Zona de pasteurización

$Q = 324,861 \text{ kcal/hr}$

$\text{LMTD} = 12.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$A = 18.56 \text{ m}^2 = \underline{38 \text{ placas}}$

Zona de regeneración

$Q = 603,313 \text{ kcal/hr}$

$\text{LMTD} = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$

$A = 30.80 \text{ m}^2 = \underline{62 \text{ placas}}$

Zona de agua tratada

$Q = 215,800 \text{ kcal/hr}$

$\text{LMTD} = 14.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$A = 10.63 \text{ m}^2 = \underline{21 \text{ placas}}$

Zona de agua de torre

$Q = 248,286 \text{ kcal/hr}$

$\text{LMTD} = 9.06 \text{ } ^\circ\text{C}$

$A = 19.60 \text{ m}^2 = \underline{39 \text{ placas}}$

Zona de agua fría

$Q = 510,495 \text{ kcal/hr}$

$\text{LMTD} = 11.28 \text{ } ^\circ\text{C}$

$A = 32.33 \text{ m}^2 = \underline{65 \text{ placas}}$

Los resultados obtenidos del balance de energía aplicados a las zonas de intercambio se resumen en el cuadro 3.2 donde se muestran las condiciones de temperatura y flujo de los servicios, así como el área de transferencia (número de placas) requerida para procesar leche concentrada que es similar al área instalada, por lo tanto si se quiere incrementar la producción no es necesario modificar el área de transferencia de los pasteurizadores.

CUADRO 3.2

BALANCE DE CALOR EN LOS PASTEURIZADORES PARA PRODUCIR 79,411 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA					
ZONAS DE LOS PASTEURIZADORES Y FLUIDOS DE SERVICIO	FLUJO MASCIO (kg/hr)	CONDICIONES DE TEMPERATURA °C		AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS PASTEURIZADORES (NUMERO DE PLACAS POR ZONA)	
		ENTRADA	SALIDA	REQUERIDAS PARA LECHE CONCENTRADA DENSIDAD = 1.047	INSTALADAS PARA LECHE CON DENSIDAD = 1.030
PASTEURIZACION - AGUA CALIENTE	59,066	86	75	30	39
REGENERACION - LECHE "CRUDA"	52,381	35	61	64	62
ENFRIAMIENTO - AGUA TRATADA	43,023	25	35	21	23
ENFRIAMIENTO - AGUA DE TORRE	82,762	22	20	39	40
ENFRIAMIENTO - AGUA FRIA	113,444	1	10	65	67

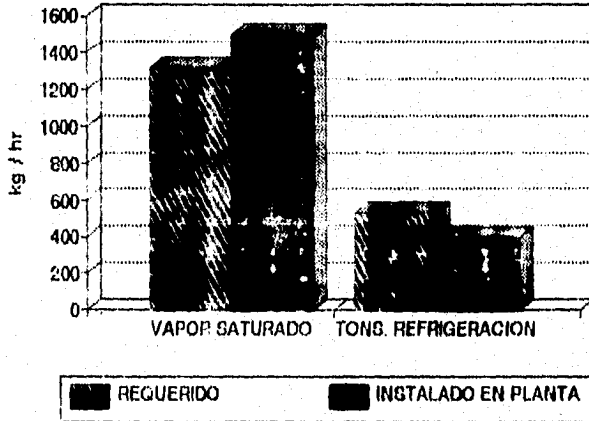
Las necesidades de servicios (vapor, agua de enfriamiento y refrigeración) para aumentar la producción de leche reconstituida a un ritmo de 79,411 lt/hr se resumen en los cuadros 3.3 y 3.4 donde se observa que las necesidades de refrigeración aumentan en un 34.62 % en relación a lo que se tiene instalado en la planta, por lo que será necesario adquirir equipo adicional para cubrir esta diferencia. Cabe señalar que para los servicios de vapor, agua tratada, y agua de torre la capacidad de generación instalada en la planta es suficiente.

CUADRO 3.3

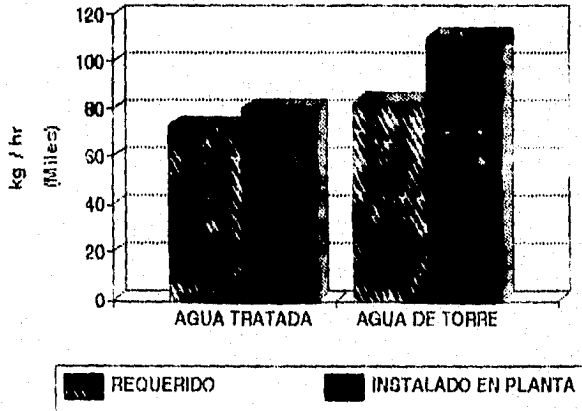
NECESIDADES DE SERVICIOS PARA LA PRODUCCION DE 79,411 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA		
SERVICIOS	FLUJO MASICO (kg/hr)	
	INSTALADO EN PLANTA	REQUERIDO
VAPOR SATURADO	1,500	1,316
AGUA TRATADA	80,000	72,435
AGUA DE TORRE	110,000	82,762
TONELADAS DE REFRIGERACION	390	525

CUADRO 3.4

NECESIDADES DE SERVICIOS 79,411 lt/hr LECHE RECONSTITUIDA



NECESIDADES DE SERVICIOS 79,411 lt/hr LECHE RECONSTITUIDA



3.3 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS EN MATERIAS PRIMAS Y SERVICIOS ENTRE LA CAPACIDAD INSTALADA Y EL AUMENTO DE PRODUCCION

3.3.1 MATERIAS PRIMAS

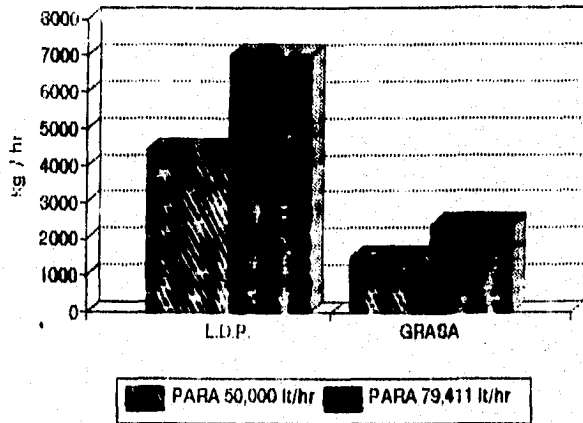
Aumentar la capacidad instalada de producción de 50,000 lt/hr hasta 79,411 lt/hr (58.82 %) implica un aumento en las necesidades de leche descremada en polvo (L.D.P.), grasa vegetal y agua tratada (potable) en la misma proporción, los cuadros comparativos 3.5 y 3.6 muestran dicho incremento en los consumos.

CUADRO 3.5

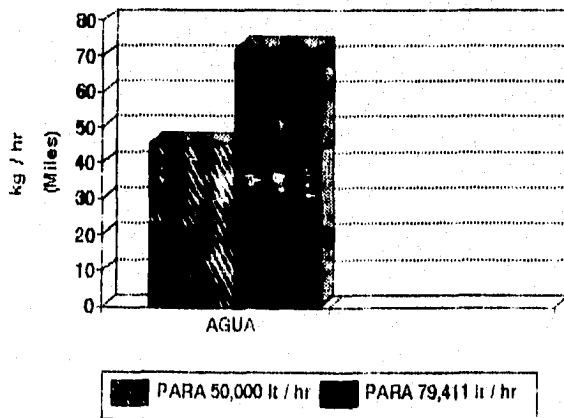
COMPARACION DE NECESIDADES DE MATERIAS PRIMAS PARA PRODUCIR 50,000 lt/hr Y 79,411 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA				
MATERIA PRIMA	FLUJO MASICO (kg/hr)		DIFERENCIA (kg/hr)	PORCENTAJE DE AUMENTO
	CAPACIDAD INSTALADA	AUMENTO DE CAPACIDAD		
LECHE DESCREMADA EN POLVO	4,403	5,992	2,589	58.8 %
GRASA VEGETAL	1,490	2,366	876	58.8 %
AGUA TRATADA (POTABLE)	45,607	72,435	26,828	58.8 %
TOTALES	51,500	81,793	30,293	58.8 %

CUADRO 3.6

COMPARATIVO DE MATERIAS PRIMAS PARA PRODUCIR LECHE RECONSTITUIDA



COMPARATIVO DE AGUA POTABLE PARA PRODUCIR LECHE RECONSTITUIDA



3.3.2 SERVICIOS

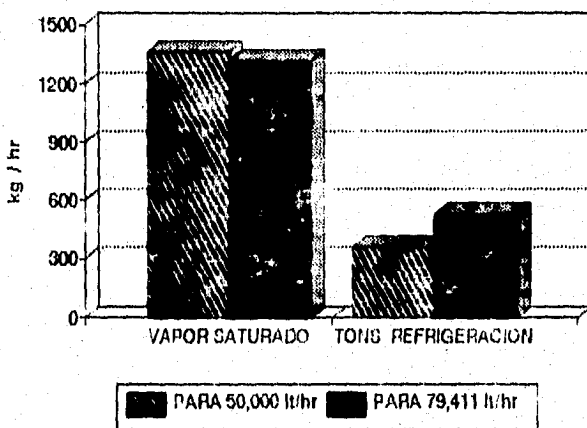
El planteamiento para aumentar la capacidad de producción de leche reconstituida comprende entre otras cosas, analizar la demanda de servicios (agua tratada, vapor, agua de enfriamiento y refrigeración) que se requieren para la nueva capacidad y hacer una comparación con respecto a la capacidad instalada para determinar si la infraestructura existente para la generación de servicios es suficiente, los cuadros 3.7 y 3.8 comparan los consumos de servicios.

CUADRO 3.7

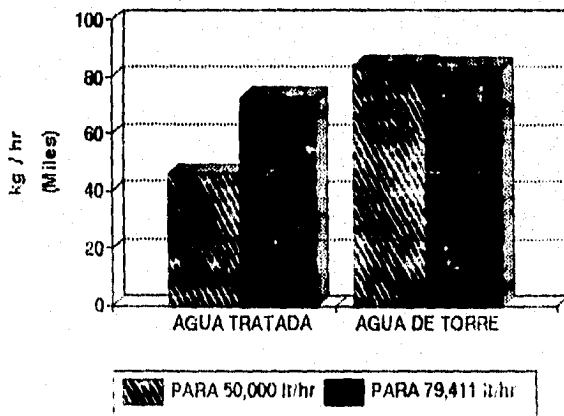
COMPARACION DE NECESIDADES DE SERVICIOS PARA PRODUCIR 50.000 lt/hr Y 79.411 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA				
TIPO DE SERVICIO	FLUIDO MASICO (kg/hr)		DIFERENCIA (kg/hr)	PORCENTAJE DE AUMENTO
	CAPACIDAD INSTALADA 50,000 lt/hr	AUMENTO DE CAPACIDAD 79,411 lt/hr		
VAPOR SATURADO	1,355	1,316	-39	-3.0 %
AGUA TRATADA	45,607	72,435	26,828	58.8 %
AGUA DE TORRE	83,636	82,762	-874	-1.1 %
TONELADAS DE REFRIGERACION	356	525	169	47.5 %

CUADRO 3.8

COMPARATIVO DE SERVICIOS PARA PRODUCIR LECHE RECONSTITUIDA



COMPARATIVO DE SERVICIOS PARA PRODUCIR LECHE RECONSTITUIDA



Los balances de materiales y energía que se realizaron al proceso de leche reconstituida con capacidad instalada de producción (50,000 lt/hr) y a los realizados al proceso planteado para aumentar la producción (79,411 lt/hr) arrojan las siguientes conclusiones según los datos de los cuadros 3.5 y 3.7

- En el consumo de materias primas (l.d.p., grasa y agua) existe un incremento constante del 58.8 % con respecto a la capacidad instalada por lo que este aumento se debe de tomar en cuenta para la estimación de los costos de producción.
- Las necesidades de vapor y agua de torre de enfriamiento son casi las mismas, existe una pequeña variación que no es significativa con respecto a las necesidades en la capacidad instalada (3.0 % y 1.1 % respectivamente), por tanto es factible utilizar los mismos equipos que generan estos servicios y mantener los costos en la generación de estos servicios
- El incremento en la demanda de servicios para aumentar la capacidad de producción se refleja sólo en el consumo de agua tratada que se utiliza en el proceso (58.8 % más) y en las necesidades de refrigeración para enfriamiento (47.5 % más de toneladas de refrigeración), debido a la creación de la línea auxiliar de agua fría (29,411 lt/hr) que se propone instalar para la dilución de la leche concentrada que proviene de los pasteurizadores (ver diagrama de la figura 3.1)
- En base a lo anterior, para aumentar la capacidad instalada de producción de leche reconstituida, se necesita invertir en los costos de:
 - Materias primas (l.d.p., grasa y agua) en proporción al incremento establecido del 58.8 % en relación a la capacidad instalada.
 - Un sistema de enfriamiento y equipo auxiliar de proceso para la instalación de la línea de agua fría para dilución de leche concentrada.

3.4 EVALUACION DE CAIDA DE PRESION Y COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS PASTEURIZADORES

En la producción de leche reconstituida la pasteurización y enfriamiento son las etapas críticas del proceso, en ellas se propone el aumento de la producción utilizando leche a mayor concentración de sólidos (aumentando de 11.1 % a 17.3 %), por lo que es importante conocer el efecto que tendrá dicho aumento de concentración en el funcionamiento de los pasteurizadores, para ello se tendrá que evaluar el coeficiente general de transferencia de calor (c.g.t.c.) y la caída de presión ya que estos parámetros se modifican al variar la concentración y por tanto la viscosidad del fluido de trabajo, en este caso la leche reconstituida.

La metodología a seguir es la siguiente: se evalúa la caída de presión y el c.g.t.c. en los pasteurizadores utilizando la concentración de sólidos de 11.1 %, posteriormente se realiza una segunda evaluación empleando la concentración propuesta de sólidos de 17.3 %, finalmente tomando como referencia los resultados obtenidos de la primera evaluación se comparan los resultados entre sí para conocer si existe o no variación significativa de los parámetros establecidos y de esta forma garantizar el buen funcionamiento de los pasteurizadores cuando éstos procesen leche a mayor concentración de sólidos.

3.4.1 CAIDA DE PRESION

La caída de presión en una tubería ó equipo de proceso se define como la pérdida de presión a lo largo del trayecto debido a la fricción del fluido teniendo una dirección y flujo uniformes. La fricción del fluido se evalúa mediante un factor de fricción (f) que depende del régimen de flujo que se emplea (laminar ó turbulento). El régimen de flujo se calcula con el número adimensional de Reynolds (Re) que relaciona las propiedades propias del fluido (densidad y viscosidad) con la velocidad a la que éste fluye a través de una sección geométrica. (17)

Los pasteurizadores instalados son intercambiadores de calor tipo placas (icp), APV CREPACO INC. propone calcular la caída de presión (CP) con la expresión: (18)

$$CP = 2 * f * V^2 * l * d / g * De$$

Donde:

- f = factor de fricción.
- V = velocidad de flujo dentro del icp.
- l = longitud de las placas.
- d = densidad del fluido.
- g = aceleración gravitacional.
- De = diámetro equivalente para el icp.

El factor de fricción calculado para el icp está en función del número de Reynolds (Re) y se relaciona con la expresión: (19)

$$f = b / (Re)^y \quad \text{Donde:}$$

- y = tiene valores de 0.1 a 0.4 que dependen del tipo de placa.
- b = es una constante característica de la placa.

Para el icp modelo CR-50 de APV CREPACO INC. el factor de fricción se calcula con la ecuación: (20)

$$f = 2.5 (Re)^{-0.7}$$

La ecuación para el cálculo de la velocidad de flujo en un icp es la siguiente: (21)

$$V = m / d * A_c$$

Donde:

m = flujo másico del fluido.

d = densidad del fluido.

A_c = área transversal al flujo en el icp.

El área transversal al flujo en un icp se obtiene con la relación:

$$A_c = a * n$$

a = área transversal al flujo de un canal entre dos placas.

n = número total de canales en el icp.

El área transversal al flujo de un canal entre dos placas se calcula multiplicando el ancho de la placa (z) con la separación que existe entre las placas (y) es decir: a = z*y

El número de reynolds (Re) para un icp se calcula con la siguiente ecuación: (22)

$$Re = V * d * D_e / \nu$$

Donde:

V = velocidad de flujo dentro del icp.

d = densidad del fluido.

D_e = diámetro equivalente.

ν = viscosidad del fluido.

El diámetro equivalente en un icp se obtiene con la relación:

$$D_e = 4 * R_h$$

R_h = radio hidráulico.

El concepto de radio hidráulico se relaciona con la ecuación:

$$R_h = a / P_m$$

a = área transversal al flujo de un canal entre dos placas.

P_m = perímetro mojado.

A su vez el perímetro mojado es la suma de dos veces el ancho de la placa más dos veces la separación que existe entre las placas, es decir: P_m = 2*z + 2*y

Cuando el ancho de la placa (z) sea muy grande en relación a la separación entre placas (y) ó sea (z >>> y), entonces el perímetro mojado (P_m) es igual a dos veces el ancho entre placas: P_m = 2*z

Sustituyendo el concepto de radio hidráulico en la ecuación del diámetro equivalente se tiene la relación:

$$De = 4*a / 2*z$$

$De = 4*z*y / 2*z$; simplificando la relación, se tiene la ecuación a usar en el diámetro equivalente:

$$De = 2*y$$

En el cuadro 3.9 se muestran las dimensiones de las placas para el icp modelo CR-50 APV CREPACO (23)

CUADRO 3.9

DIMENSIONES DE PLACAS PARA EL ICP MODELO CR-50 APV CREPACO

Longitud de las placas (l) : 1.56 m

Ancho de las placas (z) : 0.32 m

Separación entre las placas (y) una vez comprimidas : 0.005-0.009 m

Area transversal al flujo en un canal (a = z*y) : 0.0026 m²

Diámetro equivalente (De = 2*y) : 0.016 m

Para empezar los cálculos, es necesario conocer las propiedades físico-químicas de los fluidos de proceso (leche) y de servicios (agua caliente, agua tratada, de torre y fría) que manejan los pasteurizadores, los cuadros 3.10 y 3.11 ilustran viscosidad y conductividad térmica de la leche en función del contenido de sólidos. (24)

CUADRO 3.10

VISCOSIDAD DE LA LECHE EN FUNCION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES

CONCENTRACION (%)	VISCOSIDAD (centipoise)
11.10	1.52 *
12.51	1.55
17.33	1.65 *
17.50	1.65

* Valores interpolados y extrapolados

CUADRO 3.11

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA LECHE REFERIDA A 20° C
EN FUNCION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS GRASOS

CONCENTRACION (%)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (kcal / m hr °F)
3.00	0.522 *
4.00	0.510
4.68	0.502 *
20.00	0.330

* Valores interpolados y extrapolados

La hoja de cálculo para la caída de presión en cada una de las zonas de intercambio tiene la misma metodología, por lo que sólo se muestra el cálculo completo para la primera zona del pasteurizador y en las demás sólo se muestran los resultados.

Cálculo para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos de leche).

Pasteurización

Intercambio: leche - agua caliente

Lado caliente: agua caliente a 86°C

flujo: 30,413 kg/hr

densidad : 0.972 kg/lt = 972 kg/m³

viscosidad : 0.332 centipoise = 1.19 kg / m hr

aceleración gravedad (g) : 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 39

número de canales entre placas : 20

longitud de las placas (l) : 1.56 m

Área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

Área transversal total de flujo (Ac) : 0.052 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V)

$$V = m / d \cdot Ac$$

$$V = 30,413 / (972) \cdot (0.052)$$

$$V = 602 \text{ m/hr}$$

Número de Reynolds (Re)

$$Re = V \cdot d \cdot De / v$$

$$Re = (602) \cdot (972) \cdot (0.016) / 1.19 \text{ [=] adimensional}$$

$$Re = 7,868$$

Factor de fricción (f)

$$f = 2.5 (Re)^{-0.2}$$

$$f = 2.5 (7,868)^{-0.2} \text{ [=] adimensional}$$

$$f = 0.169$$

Caída de presión (CP)

$$CP = 2 \cdot f \cdot V^2 \cdot l \cdot d / g \cdot De$$

$$CP = (2) \cdot (0.169) \cdot (602)^2 \cdot (1.56) \cdot (972) / (127'137,600) \cdot (0.016)$$

$$CP = 91 \text{ kg/m}^2 = 0.009 \text{ kg/cm}^2 = \underline{0.13 \text{ lb/in}^2}$$

Cálculo para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos de leche).

Pasteurización

Intercambio: leche - agua caliente

Lado frío: leche reconstituida a 61°C

flujo: 25,750 kg/hr

densidad : 1.030 kg/lt = 1,030 kg/m³

viscosidad : 1.52 centipoise = 5.47 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 39

número de canales entre placas : 20

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.052 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V)

$$V = m / d * Ac$$

$$V = 25,750 / (1,030) * (0.052)$$

$$V = 481 \text{ m/hr}$$

Número de Reynolds (Re)

$$Re = V * d * De / v$$

$$Re = (481) * (1,030) * (0.016) / 5.47 \quad [=] \text{ adimensional}$$

$$Re = 1,449$$

Factor de fricción (f)

$$f = 2.5 (Re)^{-0.2}$$

$$f = 2.5 (1,449)^{-0.2} \quad [=] \text{ adimensional}$$

$$f = 0.282$$

Caída de presión (CP)

$$CP = 2 * f * V^2 * l * d / g * De$$

$$CP = (2) * (0.282) * (481)^2 * (1.56) * (1,030) / (127'137,600) * (0.016)$$

$$CP = 103 \text{ kg/m}^2 = 0.010 \text{ kg/cm}^2 = \underline{0.15} \text{ lb/in}^2$$

Cálculo para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos de leche).

Regeneración

Intercambio: leche - leche

Lado caliente: leche reconstituida a 75°C

flujo: 25,750 kg/hr

densidad : 1.030 kg/lt = 1,030 kg/m³

viscosidad : 1.52 centipoise = 5.47 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 64

número de canales entre placas : 32

longitud de las placas (l) : 1.56 m

Área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

Área transversal total de flujo (Ac) : 0.083 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 301 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 907 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.324 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 46 kg/m² = 0.004 kg/cm² = 0.06 lb/in²

Lado frío: leche reconstituida a 35°C

flujo: 25,750 kg/hr

densidad : 1.030 kg/lt = 1,030 kg/m³

viscosidad : 1.52 centipoise = 5.47 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 64

número de canales entre placas : 32

longitud de las placas (l) : 1.56 m

Área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

Área transversal total de flujo (Ac) : 0.083 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 301 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 907 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.324 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 46 kg/m² = 0.004 kg/cm² = 0.06 lb/in²

Cálculo para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos de leche).

Enfriamiento con agua tratada

Intercambio: leche - agua tratada

Lado caliente: leche reconstituida a 49°C

flujo: 25,750 kg/hr

densidad : 1.030 kg/lt = 1,030 kg/m³

viscosidad : 1.52 centipoise = 5.47 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 23

número de canales entre placas : 12

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.031 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 807 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 2,431 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.241 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 248 kg/m² = 0.025 kg/cm² = 0.35 lb/in²

Lado frío: agua tratada a 25°C

flujo: 22,804 kg/hr

densidad : 0.995 kg/lt = 995 kg/m³

viscosidad : 0.874 centipoise = 3.15 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 23

número de canales entre placas : 12

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.031 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 739 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 4,008 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.208 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 173 kg/m² = 0.017 kg/cm² = 0.25 lb/in²

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Cálculo para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos de leche).

Enfriamiento con agua de torre

intercambio : leche - agua de torre

Lado caliente: leche reconstituida a 39.5°C

flujo: 25,750 kg/hr

densidad : 1.030 kg/lt = 1,030 kg/m³

viscosidad : 1.52 centipoise = 5.47 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 40

número de canales entre placas : 20

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.052 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 481 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 1,449 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.282 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 103 kg/m² = 0.010 kg/cm² = 0.15 lb/in²

Lado frío: agua de torre a 22°C

flujo: 41,818 kg/hr

densidad : 0.998 kg/lt = 998 kg/m³

viscosidad : 0.958 centipoise = 3.45 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 40

número de canales entre placas : 20

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.052 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 806 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 3,731 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.212 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 211 kg/m² = 0.021 kg/cm² = 0.30 lb/in²

Cálculo para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos de leche).

Enfriamiento con agua fría

intercambio : leche - agua fría

Lado caliente: leche reconstituida a 29°C

flujo: 25,750 kg/hr

densidad : 1.030 kg/lt = 1,030 kg/m³

viscosidad : 1.52 centipoise = 5.47 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 67

número de canales entre placas : 34

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.088 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 284 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 856 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.330 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 42 kg/m² = 0.004 kg/cm² = 0.06 lb/in²

Lado frío: agua fría a 1°C

flujo: 58,412 kg/hr

densidad : 1.000 kg/lt = 1000 kg/m³

viscosidad : 1.67 centipoise = 6.02 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 67

número de canales entre placas : 34

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.088 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 664 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 1,765 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.265 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 179 kg/m² = 0.018 kg/cm² = 0.26 lb/in²

El cuadro 3.12 resume los cálculos de caídas de presión dentro de los pasteurizadores para el fluido de proceso (leche) y el de servicio (agua caliente, agua tratada, agua de torre y agua fría) para una capacidad instalada de producción de 50,000 lt/hr de leche reconstituida con 11.1 % de sólidos totales. Por otro lado, estos resultados de caída de presión serán la referencia para comparar los cálculos que se obtengan cuando se aumente la concentración de sólidos a 17.3 % y determinar de esta forma la factibilidad de seguir utilizando el mismo equipo de pasteurización.

CUADRO 3.12

CAIDA DE PRESION EN LOS PASTEURIZADORES AL PROCESAR 50,000 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA CON 11.1 % DE SOLIDOS			
FLUIDO	FLUJO MÁSICO (kg/hr)	TEMP. °C	CAIDA DE PRESION (lb/in ²)
LECHE RECONSTITUIDA	26,191	35 A 61	0.06 CALENTAMIENTO
LECHE RECONSTITUIDA	26,191	61 A 75	0.15 CALENTAMIENTO
LECHE RECONSTITUIDA	26,191	75 A 7	0.62 ENFRIAMIENTO
AGUA CALIENTE	30,413	86 A 75	0.13
AGUA TRATADA	22,804	25 A 35	0.25
AGUA DE TORRE	41,818	22 A 28	0.30
AGUA FRÍA	58,412	1 A 10	0.26

Cálculo para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Pasteurización

Intercambio : agua caliente - leche

Lado caliente: agua caliente a 86°C

flujo: 29,533 kg/hr

densidad : 0.972 kg/lt = 972 kg/m³

viscosidad : 0.332 centipoise = 1.19 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 38

número de canales entre placas : 19

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.049 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 620 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 8,103 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.168 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 96 kg/m² = 0.010 kg/cm² = 0.14 lb/in²

Lado frío: leche reconstituida a 61°C

flujo: 26,190 kg/hr

densidad : 1.047 kg/lt = 1,047 kg/m³

viscosidad : 1.65 centipoise = 5.94 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 38

número de canales entre placas : 19

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.049 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 511 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 1,441 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.282 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 118 kg/m² = 0.011 kg/cm² = 0.17 lb/in²

Cálculo para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Regeneración

Intercambio: leche - leche

Lado caliente: leche reconstituida a 75°C

flujo: 26,190 kg/hr

densidad : 1.047 kg/lt = 1,047 kg/m³

viscosidad : 1.65 centipoise = 5.94 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 64

número de canales entre placas : 32

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.083 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 301 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 849 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.331 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 48 kg/m² = 0.005 kg/cm² = 0.07 lb/in²

Lado frío: leche reconstituida a 35°C

flujo: 26,190 kg/hr

densidad : 1.047 kg/lt = 1,047 kg/m³

viscosidad : 1.65 centipoise = 5.94 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 64

número de canales entre placas : 32

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.083 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 301 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 849 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.331 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 48 kg/m² = 0.005 kg/cm² = 0.07 lb/in²

Cálculo para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua tratada

Intercambio: leche - agua tratada

Lado caliente: leche reconstituida a 49°C

flujo: 26,190 kg/hr

densidad : 1.047 kg/lt = 1,047 kg/m³

viscosidad : 1.65 centipoise = 5.94 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 21

número de canales entre placas : 11

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.029 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 863 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 2,434 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.241 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 288 kg/m² = 0.029 kg/cm² = 0.41 lb/in²

Lado frío: agua tratada a 25°C

flujo: 21,511 kg/hr

densidad : 0.995 kg/lt = 995 kg/m³

viscosidad : 0.874 centipoise = 3.15 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 21

número de canales entre placas : 11

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.029 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 746 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 3,770 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.211 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 179 kg/m² = 0.018 kg/cm² = 0.26 lb/in²

Cálculo para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua de torre

intercambio : leche - agua de torre

Lado caliente: leche reconstituida a 39.7°C

flujo: 26,190 kg/hr

densidad : 1.047 kg/lt = 1,047 kg/m³

viscosidad : 1.65 centipoise = 5.94 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 39

número de canales entre placas : 20

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.052 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 481 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 1,449 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.282 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 103 kg/m² = 0.010 kg/cm² = 0.15 lb/in²

Lado frío: agua de torre a 22°C

flujo: 41,381 kg/hr

densidad : 0.998 kg/lt = 998 kg/m³

viscosidad : 0.958 centipoise = 3.45 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 39

número de canales entre placas : 20

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.052 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 797 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 3,689 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.213 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 207 kg/m² = 0.021 kg/cm² = 0.30 lb/in²

Cálculo para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua fría

intercambio : leche - agua fría

Lado caliente: leche reconstituida a 29°C

flujo: 26,190 kg/hr

densidad : 1.047 kg/lt = 1,047 kg/m³

viscosidad : 1.65 centipoise = 5.94 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 65

número de canales entre placas : 33

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.086 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 291 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 821 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.334 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 46 kg/m² = 0,005 kg/cm² = 0.06 lb/in²

Lado frío: agua fría a 1°C

flujo: 56,722 kg/hr

densidad : 1.000 kg/lt = 1000 kg/m³

viscosidad : 1.67 centipoise = 6.02 kg / m hr

aceleración gravedad (g): 9.81 m/s² = 127'137,600 m/hr²

número de placas : 65

número de canales entre placas : 33

longitud de las placas (l) : 1.56 m

área transversal de flujo por canal : 0.0026 m²

área transversal total de flujo (Ac) : 0.086 m²

diámetro equivalente (De) : 0.016 m

Velocidad de flujo (V) : 660 m/hr

Número de Reynolds (Re) : 1,754 [=] adimensional

Factor de fricción (f) : 0.266 [=] adimensional

Caída de presión (CP) : 178 kg/m² = 0.018 kg/cm² = 0.26 lb/in²

El cuadro 3.13 resume los cálculos de caída de presión en los pasteurizadores para un flujo de 50,000 lt/hr de leche reconstituida concentrada a 17.3 % de sólidos, como se observa no existe variación significativa con los datos si se comparan con los del cuadro 3.12 por tanto, es factible utilizar los mismos equipos para pasteurizar leche concentrada sin tener problemas con la caída de presión.

CUADRO 3.13

CAIDA DE PRESION EN LOS PASTEURIZADORES AL PROCESAR 50,000 lt/hr DE LECHE RECONSTITUIDA CON 17.3 % DE SOLIDOS			
FLUIDO	FLUJO MASICO (kg/hr)	TEMP. °C	CAIDA DE PRESION (lb/in ²)
LECHE RECONSTITUIDA	26,191	35 A 61	0.07 CALENTAMIENTO
LECHE RECONSTITUIDA	26,191	61 A 75	0.17 CALENTAMIENTO
LECHE RECONSTITUIDA	26,191	75 A 7	0.69 ENFRIAMIENTO
AGUA CALIENTE	30,413	86 A 75	0.14
AGUA TRATADA	22,804	25 A 35	0.26
AGUA DE TORRE	41,818	22 A 28	0.30
AGUA FRIA	58,412	1 A 10	0.26

3.4.2 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor en los pasteurizadores se desarrolla por medio de dos mecanismos de transferencia: conducción y convección.

Conducción

Es el mecanismo de transferencia que se presenta en el interior de los materiales sólidos, en el caso de los pasteurizadores a través de las placas y se rige por la ley de Fourier. (25)

$$q = A \cdot (k/e) \cdot (T - T_0)$$

Donde:

q = flujo de calor a través de la placa

A = área transversal al flujo de calor de la placa

k = conductividad térmica de la placa

e = espesor de la placa

(T - T₀) = diferencia de temperaturas entre las paredes de la placa

Convección

Es el mecanismo de transferencia que se desarrolla en el interior de los fluidos entre las moléculas calientes y frías mediante un movimiento de retromezclado, originándose corrientes convectivas.

El movimiento de estas corrientes ya sean naturales ó forzadas (movimiento externo) establecen la velocidad de transferencia de calor.

La ecuación de Newton expresa el flujo ó velocidad de transferencia de calor entre un sólido (placa) y un líquido mediante la relación: (26)

$$q = h \cdot A \cdot (T - T_0)$$

La ecuación establece que el flujo de calor (q) es directamente proporcional al área de transferencia (A) y a una diferencia de temperaturas que se establece mediante una constante de proporcionalidad (h) que se conoce como coeficiente individual ó convectivo de transferencia de calor, cuyo valor depende de la geometría del sistema y de las propiedades y velocidad del fluido.

Existen correlaciones empíricas para predecir el valor del coeficiente convectivo (h) pues es común que no se pueda determinar por medios teóricos, al coeficiente también se le llama de película porque cuando se desplaza un fluido por una superficie se forma una capa delgada estacionaria adyacente a la pared que presenta la mayor parte de la resistencia a la transmisión de calor. (27)

En las zonas de intercambio de los pasteurizadores, ambos lados de las placas están en contacto con un fluido frío y uno caliente (la leche y el fluido de servicio), como se mencionó al principio la transferencia de calor se desarrolla por los mecanismos de convección y conducción, entonces:

$$q = h_c * A * (T - T_o)_c = A * (k/e) * (T - T_o)_p = h_f * A * (T - T_o)_f$$

Donde:

q = flujo ó velocidad total de transferencia de calor

h_c = coeficiente de película del fluido caliente

h_f = coeficiente de película del fluido frío

k = conductividad térmica de la placa

e = espesor de la placa

$(T - T_o)_c$ = diferencia de temperaturas del fluido caliente

$(T - T_o)_f$ = diferencia de temperaturas del fluido frío

$(T - T_o)_p$ = diferencia de temperaturas entre las paredes de la placa

Expresando $1/(h_c * A)$, $1/(h_f * A)$, $e/(k * A)$ como resistencias a la transferencia de calor y reordenando:

$$q = (T - T_o) / [1/(h_c * A) + 1/(h_f * A) + e/(k * A)] \text{ ó}$$

$$q = (T - T_o) * A * 1 / [1/h_c + 1/h_f + e/k]$$

Donde:

$$1 / [1/h_c + 1/h_f + e/k] = U$$

Por tanto el intercambio de calor en los pasteurizadores se expresa en términos de (U) que es el coeficiente global de transferencia de calor, mediante la expresión:

$$Q = U * A * (T - T_o)$$

La resistencia global a la transferencia de calor se define con la expresión:

$$1/U = 1/h_c + 1/h_r + e/k$$

Donde:

$1/h_c$ = resistencia del fluido caliente

$1/h_r$ = resistencia del fluido frío

e/k = resistencia que impone la placa

A estas resistencias se le debe sumar la resistencia que se presenta debido al ensuciamiento del equipo (R_f), por lo que la resistencia global a la transferencia en los pasteurizadores queda como:

$$1/U = 1/h_c + 1/h_r + e/k + R_f$$

De acuerdo a la expresión anterior, al término (U) se le llama también coeficiente global sucio de transferencia de calor.

Para los pasteurizadores instalados en la planta el fabricante APV CREPACO INC, asigna un valor de (U) para efectos de cálculo entre 850 y 1,400 kcal / hr m² °C (20)

Cálculo del coeficiente de película

Como se mencionó el coeficiente de película está en función de la geometría del sistema y de las propiedades del fluido así como de la velocidad del mismo. Si se considera al diámetro equivalente (De) como única dimensión geométrica característica de las placas en los pasteurizadores y se desarrolla un análisis dimensional se tiene la expresión para el cálculo del coeficiente de película (h): (29)

$$h = C * (k/De) * (V d De / v)^m * (v Cp / k)^n$$

Donde:

C, B, D = son constantes y están en función del tipo de placa y se evalúan experimentalmente

k = conductividad térmica del fluido

De = diámetro equivalente de las placas

V = velocidad del fluido

d = densidad del fluido

v = viscosidad del fluido

Cp = capacidad calorífica del fluido

Reordenando la ecuación anterior en función de números adimensionales se obtiene:

$$h \text{ De} / k = C * (V \text{ d De} / \nu)^B * (\nu \text{ Cp} / k)^D$$

lo que equivale a la expresión:

$$\text{Nu} = C * (\text{Re})^B * (\text{Pr})^D \quad \text{Donde: Nu} = \text{número de Nusselt}$$

$$\text{Pr} = \text{número de Prandtl}$$

$$\text{Re} = \text{número de Reynolds}$$

$$C, B, D = \text{constantes}$$

Los valores de las constantes dependen como se mencionó anteriormente del tipo de placas instaladas en los pasteurizadores, APV CREPACO INC. asigna valores a estas constantes para el modelo CR-5 y propone la ecuación para el cálculo del coeficiente de película: (30)

$$\text{Nu} = 0.28 * (\text{Re})^{0.62} * (\text{Pr})^{0.4}$$

$$h \text{ De} / k = 0.28 * (\text{Re})^{0.62} * (\text{Pr})^{0.4}$$

El tipo de flujo (laminar ó turbulento) del fluido en cuestión ejerce un efecto considerable sobre el coeficiente de película (h), ya que la mayor resistencia a la transferencia de calor está localizada en la película cercana a la pared, por lo tanto mientras más turbulento sea el flujo mayor será el coeficiente global de transferencia de calor (U).

La metodología de cálculo para el coeficiente en cada una de las zonas de intercambio en los pasteurizadores será la misma por lo que sólo se muestra el cálculo completo para la zona de pasteurización y en las restantes sólo se muestran resultados.

Para los cálculos APV CREPACO INC. proporciona datos del factor de ensuciamiento de los pasteurizadores y de resistencia a la transferencia de calor medidos para las placas. (31)

$$\text{Resistencia de la placa (e/k)} = 8.2 \times 10^{-5} \text{ hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{btu}$$

$$= 1.67 \times 10^{-5} \text{ hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{kcal}$$

$$\text{Resistencia ó factor de ensuciamiento para leche (Rf)} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{btu}$$

$$= 3.1 \times 10^{-5} \text{ hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{kcal}$$

Cálculo de (U) para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos en la leche)

Pasteurización

Intercambio: leche - agua caliente

Lado caliente: agua a 86°C

viscosidad (ν) = 0.332 centipoise = 1.19 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.5789 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 1.0050 kcal / kg °C

diámetro equivalente (De) = 0.016 m

número de Reynolds (Re) = 7,868

Número de Prandtl (Pr)

$$Pr = \nu \cdot Cp / k$$

$$Pr = (1.19) \cdot (1.0050) / 0.5789$$

$$Pr = 2.07 \text{ [=] adimensional}$$

Coefficiente de película (h_c)

$$h_c = k \cdot 0.28 \cdot (Re)^{0.48} \cdot (Pr)^{0.4} / De$$

$$h_c = (0.5789) \cdot (0.28) \cdot (7,868)^{0.48} \cdot (2.07)^{0.4} / 0.016$$

$$h_c = \underline{4.617} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos en la leche)

Pasteurización

Lado frío: leche reconstituida a 61°

viscosidad (ν) = 1.52 centipoise = 5.47 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9396 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.928 kcal / kg °C

diámetro equivalente (De) = 0.016 m

número de Reynolds (Re) = 1,449

Número de Prandtl (Pr)

$$Pr = \nu \cdot Cp / k$$

$$Pr = (5.47) \cdot (0.928) / 0.9396$$

$$Pr = 5.40 \text{ [≈] adimensional}$$

Coefficiente de película (h_r)

$$h_r = k \cdot 0.28 \cdot (Re)^{0.6} \cdot (Pr)^{0.4} / De$$

$$h_r = (0.9396) \cdot (0.28) \cdot (1,449)^{0.6} \cdot (5.40)^{0.4} / 0.016$$

$$h_r = \underline{3,661} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_r) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(4,617) + 1/(3,661) + 1.67 \cdot 10^{-4} + 3.1 \cdot 10^{-4}]$$

$$U = 1 / 5.37 \cdot 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,861} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos en la leche)

Regeneración

Intercambio: leche - leche

Lado caliente: leche reconstituida a 75°C

viscosidad (ν) = 1.52 centipoise = 5.47 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9396 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.928 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 907

Número de Prandt (Pr) : 5.40 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 2,700 kcal / hr m² °C

Lado frío : leche reconstituida a 35°C

viscosidad (ν) = 1.52 centipoise = 5.47 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9396 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.928 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 907

Número de Prandt (Pr) : 5.40 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 2,700 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_c) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(2,700) + 1/(2,700) + 1.67 \times 10^{-3} + 3.1 \times 10^{-3}]$$

$$U = 1 / 7.88 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,268} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua tratada

Intercambio: leche - agua tratada

Lado caliente: leche reconstituida a 49°C

viscosidad (ν) = 1.52 centipoise = 5.47 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9396 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.928 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 2,431

Número de Prandt (Pr) : 5.40 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 5,487 kcal / hr m² °C

Lado frío : agua tratada a 35°C

viscosidad (ν) = 0.874 centipoise = 3.15 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.4933 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.9987 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 4,008

Número de Prandt (Pr) : 6.37 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_f) : 3,979 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_f) + e/k + R_f]$$

$$U = 1 / [1/(5,487) + 1/(3,979) + 1.67 \times 10^{-3} + 3.1 \times 10^{-3}]$$

$$U = 1 / 4.81 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{2,078} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua de torre

Intercambio: leche - agua de torre

Lado caliente: leche reconstituida a 39.5°C

viscosidad (ν) = 1.52 centipoise = 5.47 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9396 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.928 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 1,449

Número de Prandt (Pr) : 5.40 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 3,661 kcal / hr m² °C

Lado frío : agua tratada a 22°C

viscosidad (ν) = 0.958 centipoise = 3.45 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.4933 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.9987 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 3,731

Número de Prandt (Pr) : 6.98 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 3,939 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_r) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(3,661) + 1/(3,731) + 1.67 \times 10^{-5} + 3.1 \times 10^{-5}]$$

$$U = 1 / 5.89 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,698} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para la capacidad instalada (11.1 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua fría

Intercambio: leche - agua fría

Lado caliente: leche reconstituida a 29°C

viscosidad (ν) = 1.52 centipoise = 5.47 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9396 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.928 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 856

Número de Prandtl (Pr) : 5.40 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 2,600 kcal / hr m² °C

Lado frío : agua fría a 1°C

viscosidad (ν) = 1.67 centipoise = 6.02 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.4896 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 1.0080 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 1,765

Número de Prandtl (Pr) : 12.40 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_f) : 3,024 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_f) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(2,600) + 1/(3,024) + 1.67 \times 10^{-8} + 3.1 \times 10^{-4}]$$

$$U = 1 / 7.63 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,311} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

**Valor promedio del coeficiente global de transferencia de calor (U)
para la capacidad instalada**

Para obtener el valor del coeficiente global en los pasteurizadores con las condiciones de operación actuales es decir de capacidad instalada a una concentración de 11.1 % de sólidos en la leche, se tienen que promediar los coeficientes de cada una de las zonas de los pasteurizadores:

$$U = 1,643 \text{ kcal / hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El valor del coeficiente global de transferencia en los pasteurizadores está por arriba del rango proporcionado por el fabricante (850 a 1,400 kcal / hr m² °C) APV CREPACO INC. en un 17 %, lo que indica que los equipos están un poco sobrados en su capacidad de transferencia.

Con este porcentaje de sobra se garantiza que se alcancen los perfiles de temperatura establecidos para la leche en cada una de las zonas del pasteurizador y obtener un producto que cumpla con las normas de sanidad.

El siguiente paso es saber si este valor permanece constante ó existe variación significativa al cambiar las condiciones dentro de los pasteurizadores aumentando la concentración de los sólidos en la leche.

Cálculo de (U) para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Pasteurización

Intercambio: agua caliente - leche

Lado caliente: agua a 86°C

viscosidad (ν) = 0.332 centipoise = 1.19 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.5789 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 1.0050 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 8,103

Número de Prandt (Pr) : 2.10 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 4,733 kcal / hr m² °C

Lado frío: leche reconstituida a 61°C

viscosidad (ν) = 1.65 centipoise = 5.94 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9036 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.886 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 1,441

Número de Prandt (Pr) : 5.82 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_f) : 3,615 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_f) + e/k + R1]$$

$$U = 1 / [1/(4,733) + 1/(3,615) + 1.67 \times 10^{-5} + 3.1 \times 10^{-5}]$$

$$U = 1 / 5.36 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,867} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Regeneración

Intercambio: leche - leche

Lado caliente: leche reconstituida a 75°C

viscosidad (ν) = 1.65 centipoise = 5.94 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9036 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.886 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 849

Número de Prandt (Pr) : 5.82 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 2,563 kcal / hr m² °C

Lado frío : leche reconstituida a 35°C

viscosidad (ν) = 1.65 centipoise = 5.94 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9036 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.886 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 849

Número de Prandt (Pr) : 5.82 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_r) : 2,563 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_r) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(2,563) + 1/(2,563) + 1.67 \times 10^{-5} + 3.1 \times 10^{-5}]$$

$$U = 1 / 8.28 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,208} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua tratada

Intercambio: leche - agua tratada

Lado caliente: leche reconstituida a 49°C

viscosidad (ν) = 1.65 centipoise = 5.94 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9036 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.886 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 2,434

Número de Prandt (Pr) : 5.82 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 5,083 kcal / hr m² °C

Lado frío : agua tratada a 25°C

viscosidad (ν) = 0.874 centipoise = 3.15 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.4933 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.9987 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 3,770

Número de Prandt (Pr) : 6.37 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_f) : 3,823 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_f) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(5,083) + 1/(3,823) + 1.67 \times 10^{-4} + 3.1 \times 10^{-4}]$$

$$U = 1 / 5.06 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,976} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua de torre

Intercambio: leche - agua de torre

Lado caliente: leche reconstituida a 39.7°C

viscosidad (ν) = 1.65 centipoise = 5.94 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.9036 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.886 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 1,449

Número de Prandt (Pr) : 5.82 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 3,628 kcal / hr m² °C

Lado frío : agua tratada a 22°C

viscosidad (ν) = 0.958 centipoise = 3.45 kg / hr kg

conductividad térmica (k) = 0.4933 kcal / hr m °C

capacidad calorífica (Cp) = 0.9987 kcal / kg °C

número de Reynolds (Re) = 3,689

Número de Prandt (Pr) : 6.98 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_r) : 3,910 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_r) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(3,628) + 1/(3,910) + 1.67 \times 10^{-7} + 3.1 \times 10^{-5}]$$

$$U = 1 / 5.79 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,727} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

Cálculo de (U) para el aumento de capacidad (17.3 % de sólidos en la leche)

Enfriamiento con agua fría

Intercambio: leche - agua fría

Lado caliente: leche reconstituida a 29°C

- viscosidad (ν) = 1.65 centipoise = 5.94 kg / hr kg
- conductividad térmica (k) = 0.9036 kcal / hr m °C
- capacidad calorífica (C_p) = 0.886 kcal / kg °C
- número de Reynolds (Re) = 821

Número de Prandtl (Pr) : 5.82 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_c) : 2,508 kcal / hr m² °C

Lado frío : agua fría a 1°C

- viscosidad (ν) = 1.67 centipoise = 6.02 kg / hr kg
- conductividad térmica (k) = 0.4896 kcal / hr m °C
- capacidad calorífica (C_p) = 1.0080 kcal / kg °C
- número de Reynolds (Re) = 1,754

Número de Prandtl (Pr) : 12.40 [=] adimensional

Coefficiente de película (h_f) : 3,012 kcal / hr m² °C

Coefficiente global de transferencia (U)

$$U = 1 / [1/(h_c) + 1/(h_f) + e/k + Rf]$$

$$U = 1 / [1/(2,508) + 1/(3,012) + 1.67 \times 10^{-3} + 3.1 \times 10^{-3}]$$

$$U = 1 / 7.78 \times 10^{-4}$$

$$U = \underline{1,285} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ °C}$$

**Valor promedio del coeficiente global de transferencia de calor (U)
para el aumento de capacidad**

Para obtener el valor del coeficiente global en los pasteurizadores con las condiciones de operación modificadas es decir para aumentar la capacidad de producción teniendo una concentración de 17.3 % de sólidos en la leche, se tienen que promediar los coeficientes de cada una de las zonas de los pasteurizadores:

$$U = \underline{1,613} \text{ kcal / hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

El valor del coeficiente global de transferencia en los pasteurizadores está por arriba del rango proporcionado por el fabricante (850 a 1,400 kcal / hr m² °C) APV CREPACO INC. en un 15.5 %, lo que indica que los equipos están un poco sobrados en su capacidad de transferencia.

Con este porcentaje de sobra se garantiza que se alcancen los perfiles de temperatura establecidos para la leche en cada una de las zonas del pasteurizador y obtener un producto que cumpla con las normas de sanidad.

Además se asegura la transferencia de calor en los pasteurizadores aún aumentando la concentración de la leche ya que el valor del coeficiente permanece casi constante en relación al valor original (la variación es de sólo el 1.8 %), por lo que es factible seguir utilizando los mismos equipos.

3.5 NECESIDADES DE EQUIPO ADICIONAL PARA AUMENTAR LA PRODUCCION

Al proponer el aumento en la capacidad instalada de producción de leche reconstituida (de 50,000 a 79,411 lt/hr) se consideró de antemano que la instalación de una tercera línea de proceso -actualmente existentes- con equipo de estandarización, pasteurización, enfriamiento y bombeo incrementa los costos considerablemente.

Para incrementar el ritmo de producción se realizaron balances de materiales y energía al proceso para aumentar la concentración de sólidos en la leche reconstituida de 11.1 % hasta 17.3 % con ello se obtuvieron los incrementos adicionales en materias primas (l.d.p. grasa y agua) y servicios (refrigeración, vapor y agua de enfriamiento), también se evaluarán las condiciones de operación de los pasteurizadores al aumentar la concentración de sólidos en la leche.

A continuación se analizan las necesidades de equipo adicional en las líneas de producción y servicios auxiliares.

Líneas de proceso

Los manuales de operación de los pasteurizadores APV CREPACO INC. indican que los equipos pueden operar sin problemas al aumentar la concentración sólidos en la leche de 11.1 % a 17.3 % sin que se presenten riesgos de taponamiento en el interior de las placas, lo anterior se reafirma al evaluar la eficiencia de la operación mediante la caída de presión, el área de transferencia (número de placas) y el coeficiente global de transferencia de calor, donde se observa que no existe variación significativa en los valores al comparar los cálculos.

En lo que respecta a la homogenización de la grasa los equipos pueden operar sin problemas al aumentar la concentración de la misma de 3.0 % a 5.05 % según datos de CREPACO INC. para los homogenizadores modelo SDL-780. (32)

En base a lo anterior no se necesita adquirir y/o modificar equipo para las líneas de producción (estandarización, homogenización y pasteurización) de leche reconstituida.

Servicios en las líneas de proceso

De acuerdo a los cálculos efectuados en los balances de energía cuando se aumenta la concentración de la leche en los pasteurizadores, los requerimientos de vapor, agua de enfriamiento y por lo tanto de refrigeración son similares a los utilizados en la concentración original, por tanto no es necesario instalar ó modificar los sistemas que generan los servicios utilizados en los pasteurizadores.

Equipo adicional de proceso y generación de servicios

Al modificar el diagrama de proceso original y analizar mediante balances de materia y energía el aumento en la producción de leche, se propuso la instalación de una línea auxiliar de agua fría a 7°C que suministre 29,411 lt/hr para dilución de la concentración de leche de un 17.3 % hasta 11.1 % de sólidos, y que a la vez aumente el flujo volúmetrico de 50,000 a 79,411 lt/hr a la salida de los pasteurizadores (ver figura 3.1).

La instalación de dicha línea requiere la adquisición de equipo adicional (ver balances para la línea auxiliar pag. 59 y 60) para enfriamiento y bombeo compuesta por:

- Una bomba para suministrar 29,411 lt/hr de agua potable al enfriador de placas.
- Un enfriador de placas para bajar la temperatura de la línea auxiliar de agua de 25°C a 7°C
- Una bomba para recircular 58,822 lt/hr de agua de servicio a 1°C a través del enfriador de placas.
- Un sistema de enfriamiento con capacidad para 179 toneladas de refrigeración para bajar la temperatura del agua de servicio de 10°C a 1°C que proviene del enfriador de placas.

Selección equipo adicional

En base a folletos técnicos proporcionados por los fabricantes y a las necesidades obtenidas de los balances de materiales y energía se seleccionan los siguientes equipos: **(33)**

Bomba para suministro de la vía de agua al enfriador

Tipo: centrífuga en acero inoxidable acabado sanitario.
Gasto: 30,000 lt/hr
Carga total: 60 m
Diámetro del impulsor: 6.25 pulg.
Potencia motor: 15 HP
Velocidad rotación: 3,600 rpm
Marca: Tri-Clover Ladish Co.

Enfriador para la vía de agua

Tipo: intercambiador de placas
Capacidad: 25,000 - 30,000 lt/hr
Coeficiente global sucio (U): 1,400 kcal / hr m² °C
Temp. media logarítmica: 9.8°C
Area de transferencia por placa: 0.5 m²
Número de placas: 77
Marca: AFV CREPACO INC. mod. CR-5

Bomba para recircular agua de servicio a través del enfriador

Tipo: centrífuga
Gasto: 60,000 lt/hr
Carga total: 40 m
Diámetro del impulsor: 6.25 pulg.
Potencia motor: 30 HP
Velocidad rotación: 3,600 rpm
Marca: Tri-Clover Ladish Co.

Sistema de enfriamiento para agua de servicio

Tipo: enfriador con serpentín inundado

Producción de frío: compresión mecánica de amoníaco

Fluido a enfriar: 60,000 lt/hr agua de servicio de 10°C a 1°C

Capacidad (calor a eliminar): 200 toneladas de refrigeración

Sistema de compresión: Dos compresores Mycon mod. 130NW-6B

tipo: alternativo 6 pistones

diámetro pistón: 130 mm

carrera de pistón: 100 mm

desplazamiento: 525 m³/hr

capacidad: 105 toneladas de refrigeración

motor: 110 HP

velocidad rotación: 1,100 rpm

diámetro de succión: 3.5 pulg.

diámetro de descarga: 3.0 pulg.

condensación: 30°C - 45°C

evaporación: 5°C a -30°C

presión de descarga: máx. 15 kg/cm²

Sistema de evaporación: Un serpentín inundado

capacidad: 200 tons. refrigeración

U = 1,200 kcal / hr m² °C

refrigerante: amoníaco

temp. de evaporación: -5°C

temp. media logarítmica: 9.8°C

área de transferencia en serpentín: 51 m²

Sistema de condensación: Un condensador evaporativo para amoníaco

marca: Recold Inc. mod. QDS-3720

capacidad: 129 tons. refrigeración

temp. de condensación: 35°C

temp. de bulbo húmedo del aire: 13.5°C

CAPITULO CUATRO

ESTIMACION DE COSTOS PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCION

	PAGINA
4.1 ESTIMACION DE LOS COSTOS DE PRODUCCION PARA LA CAPACIDAD INSTALADA.	110
4.2 ESTIMACION DE LOS COSTOS PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCCION.	112
4.3 ANALISIS DE LOS COSTOS DE PRODUCCION.	116

La modificación al proceso y la instalación de equipos auxiliares para aumentar la producción de leche reconstituida requiere de una inversión ó costo.

Aumentan principalmente los costos variables: mano de obra directa, energía, materias primas y servicios adicionales etc. los cuales se relacionan directamente con el aumento al volumen de producción. (34)

Los costos fijos: rentas, sueldos a personal administrativo, impuestos, inversión de equipo, depreciación, seguros, arrendamientos, programas de publicidad, etc. sólo son relativamente fijos y aumentan cuando existe mayor actividad productiva. (35)

Lo que se pretende en este capítulo es hacer una estimación de los costos fijos y variables de producción antes y después del aumento a la capacidad instalada y compararlos entre sí para conocer el incremento generado y establecer un precio unitario de venta, considerando el subsidio a la leche descremada en polvo (l.d.p.) otorgado por el gobierno. Los costos son de 1993 reportados por el Departamento de productividad industrial de la planta. (36)

4.1 ESTIMACION DE LOS COSTOS DE PRODUCCION PARA LA CAPACIDAD INSTALADA

Capacidad instalada de producción:

Producción: 50,000 lt/hr leche reconstituida

Tiempo de operación: 17 hr/día

Días operativos anuales: 297

Producción anual: 252'450,000 lt

Costos fijos

Los costos fijos anuales para la capacidad instalada se resumen en el cuadro 4.1

CUADRO 4.1

Costos fijos anuales para la capacidad instalada de producción

Gastos de manufactura	N\$ 6'530,882.00
Gastos de administración	N\$ 24'119,073.00
Gastos de distribución	N\$ 6'364,256.00
Gastos de ventas	N\$ 8'759,896.00
Totales	N\$ 45'774,107.00

Fuente: Depto. Productividad Industrial Planta Liconsa Tlalnepantla.

Costos variables

Los costos variables anuales para la capacidad instalada se resumen en el cuadro 4.2

CUADRO 4.2

Costos variables anuales para la capacidad instalada de producción

Materias Primas

Costo de leche descremada en polvo	N\$ 10'310,033.00
Costo de grasa vegetal	N\$ 16'693,027.00
Costo de película de polietileno	N\$ 4'963,243.00
Costo de tratamiento de agua	N\$ 115,250.00
Costo de vitamina	N\$ 83,474.00
Costo de operación y servicios auxiliares	N\$ 493,252.00
Totales	N\$ 32'658,279.00

Fuente: Depto. Productividad Industrial Planta Liconsa Tlalnepantla.

Costos totales

El costo total anual de producción para la capacidad instalada es el siguiente:

Costo total = costos fijos + costos variables

Costo total = N\$ 45'774,107.00 + N\$ 32'658,279.00

Costo total = N\$ 78'432,386.00

4.2 ESTIMACION DE LOS COSTOS PARA EL AUMENTO DE PRODUCCION

Aumento de producción:

Producción: 79,411 lt/hr leche reconstituida

Tiempo de operación: 17 hr/día

Días operativos anuales: 297

Producción anual: 400'946,139 lt

Costos fijos

Inversión en equipo auxiliar

El aumento de producción mediante la modificación al proceso original requiere de la adquisición de equipo auxiliar, lo que representa una inversión en los costos fijos.

El cuadro 4.3 presenta el costo de inversión en equipo auxiliar

CUADRO 4.3

Costo de inversión en equipo auxiliar para aumentar la producción

EQUIPO	COSTO
Un evaporador inundado para amoníaco con serpentín de 20 hileras con 20 tubos c/u con diámetro de tubería de 2 pulg. cédula 40 especificación ASTM A-53 grado B capacidad de 200 tons. refrigeración	Nº 141,225.00
Dos compresores MYCOM para amoníaco modelo 130 NW-6B capacidad de 105 tons. refrigeración	Nº 148,000.00
Inversión total	Nº 289,225.00

CUADRO 4.3**Costo de inversión en equipo auxiliar para aumentar la producción**

EQUIPO	COSTO
Un condensador evaporativo RECOLO modelo OBS-3720 capacidad de 129 tons. refrigeración	N\$ 85,276.00
Un enfriador de placas APV CREPACO con área de transferencia 51 m ² en acero inoxidable 316 capacidad de 25,000 - 30,000 lt/hr	N\$ 81,537.00
Una bomba centrífuga TRI-FLOW con impulsor de 6.25 pulg. motor de 15 HP a 3,600 rpm capacidad de 30,000 lt/hr	N\$ 18,437.00
Una bomba centrífuga en acero al carbón con impulsor de 6.25 pulg. motor de 30 HP a 3,600 rpm capacidad de 60,000 lt/hr	N\$ 26,225.00
Inversión total	N\$ 211,475.00

Costos fijos

Los costos fijos anuales para el aumento en la capacidad de producción se resumen en el cuadro 4.4

CUADRO 4.4

Costos fijos anuales para aumentar la capacidad de producción

Gastos inversión de equipo	N\$ 500,700.00
Gastos de manufactura	N\$ 6'530,882.00
Gastos de administración	N\$ 24'119,073.00
Gastos de distribución	N\$ 6'364,265.00
Gastos de ventas	N\$ 8'807,966.00
Totales	N\$ 46'322,886.00

Fuente: Depto. Productividad Industrial Planta Liconsa Tlalnepantla.

Costos variables

Los costos variables anuales para el aumento en la capacidad de producción se resumen en el cuadro 4.5

CUADRO 4.5

Costos variables anuales para aumentar la capacidad de producción

Materias Primas	
Costo de leche descremada en polvo	N\$ 16'374,759.00
Costo de grasa vegetal	N\$ 26'512,454.00
Costo de película de polietileno	N\$ 7'882,797.00
Costo de tratamiento de agua	N\$ 183,044.00
Costo de vitamina	N\$ 132,576.00
Costo de operación y servicios auxiliares	N\$ 783,400.00
Totales	N\$ 51'869,030.00

Fuente: Depto. Productividad Industrial Planta Liconsa Tlalnepantla.

Costos totales

El costo total anual de producción para aumentar la capacidad de producción es el siguiente:

Costo total = costos fijos + costos variables

Costo total = N° 46'322,886.00 + N° 51'869,030.00

Costo total = N° 98'201,916.00

4.3 ANALISIS DE LOS COSTOS DE PRODUCCION

La estimación de los ingresos por concepto de ventas y los costos totales de producción anuales para la capacidad instalada de producción y para el aumento de la misma se resumen en el cuadro 4.6

CUADRO 4.6

Ventas y costos de producción anuales		
PRODUCCION ANUAL	VENTAS	COSTOS
INSTALADA (252'450,000 lt)	N\$ 28'814,643.00	N\$ 78'432,386.00
AUMENTADA (400'946,139 lt)	N\$ 45'764,433.00	N\$ 98'201,916.00

Fuente: Depto. Productividad Industrial Planta Liconsa Tlalnepantla.

Si se comparan los costos de producción contra los ingresos por concepto de ventas la planta trabaja con pérdidas, sin embargo esta pérdida se absorbe mediante un subsidio económico proporcionado por el gobierno federal a través de CONASUPO, para cumplir con el objetivo de abastecer de leche a familias de escasos recursos económicos a precios por abajo del precio oficial.

El subsidio económico proporcionado a la empresa se resume en el cuadro 4.7

CUADRO 4.7

Subsidio económico anual proporcionado por el gobierno a la planta	
PRODUCCION ANUAL	SUBSIDIO (COSTOS - INGRESOS)
INSTALADA (252'450,000 lt)	N\$ 49'617,743.00
AUMENTADA (400'946,139 lt)	N\$ 52'437,483.00
DIFERENCIA	N\$ 2'819,740.00

Fuente: Depto. Productividad Industrial Planta Liconsa Tlalnepantla.

El cuadro 4.7 indica que para aumentar la producción de leche reconstituida en un 58.8 % en relación a la capacidad instalada, el gobierno tendría que aumentar el subsidio en un 5.7 % adicional al que viene proporcionando para la producción actual, este porcentaje es bajo si se compara contra el incremento que se obtendría en la producción y por tanto en el abasto de leche.

Por último la empresa puede establecer un precio de venta unitario para la leche sin obtener utilidades pero tampoco tener pérdidas y de esta forma eliminar el subsidio otorgado por el gobierno, en otras palabras para que el costo unitario de producción sea igual al precio de venta se tiene el siguiente planteamiento:

Precio unitario

de venta (PUV) = costos fijos/producción + costos variables/producción

• capacidad instalada

PUV = N° 45'774,107.00/252'450,000 lt + N° 32'658,279.00/252'450,000 lt

PUV = N° 0.181/lt + N° 0.129/lt

PUV = N° 0.310 / lt

• aumento de la capacidad

PUV = N° 46'322,886.00/400'946,139 lt + N° 51'869,030.00/400'946,139 lt

PUV = N° 0.116/lt + N° 0.129/lt

PUV = N° 0.245 / lt

En base al análisis de los costos de producción podemos concluir lo siguiente:

Al aumentar la producción en un 58.8 % el subsidio económico otorgado a la empresa sólo se incrementa en un 5.7 % por lo que no representa un porcentaje elevado en relación al aumento que se obtiene en la producción.

Al aumentar la producción el precio de venta disminuye en un 26.5 % en relación al establecido inicialmente, por lo que es factible mantener el precio de venta original y de esta forma recuperar la inversión efectuada en equipo auxiliar y costos de producción.

CONCLUSIONS

CONCLUSIONES

Para aumentar la capacidad instalada de producción de leche reconstituida en un 58,8 % (de 50,000 lt/hr a 79,411 lt/hr) optimizando al máximo la infraestructura y los recursos técnicos, económicos y humanos existentes dentro de la planta, se propone como única alternativa modificar el proceso de producción original.

La propuesta técnica es la siguiente: aumentar la concentración de sólidos de leche en las líneas y posteriormente diluir la mezcla para incrementar el flujo volumétrico y estandarizar al mismo tiempo el contenido de sólidos como lo establecen las normas de calidad para leche reconstituida.

Los balances de materiales y energía efectuados al proceso antes y después del aumento a la producción indican que el consumo de materias primas es proporcional a dicho aumento y los requerimientos de servicios se mantienen prácticamente constantes con excepción de la generación de agua fría, también demuestran que es factible utilizar los mismos equipos de homogenización y pasteurización para procesar leche a mayor concentración de sólidos manteniendo las mismas condiciones de trabajo y por tanto la operación de los mismos.

Para aumentar la capacidad de producción es necesario invertir en equipo de enfriamiento y bombeo que sirvan para la instalación de una línea de agua fría que diluya la leche concentrada, esta inversión es mínima si se compara el beneficio social que representa aumentar el abasto de leche a la población de escasos recursos económicos.

Si se lleva a cabo el aumento en la producción de leche, el precio de venta disminuye en un 26.5 % en relación al establecido actualmente (que está por debajo del oficial debido al subsidio que la empresa recibe del gobierno), por lo que se recomienda seguir manteniendo el precio actual de venta y de esta manera recuperar a corto plazo la inversión en equipo y demás costos de producción.

Por último, aumentar la capacidad de producción de leche en una planta subsidiada por el gobierno -como es el caso de la empresa LICONSA- es una solución a corto plazo que resuelve un problema de abasto local, pero no constituye en sí la solución total al desabasto de leche que existe en México, país que cada vez tiene un mayor crecimiento demográfico.

Pruebas de lo anterior indican que México es de los principales importadores de leche en polvo a nivel mundial, por lo que es urgente buscar alternativas técnicas y económicas que disminuyan esta dependencia del exterior.

Una solución generalizada podría ser que el gobierno otorgara facilidades de créditos y reducir el pago de impuestos para incrementar y fomentar la producción de leche, desde el desarrollo del ganado productor hasta la industrialización, y poco a poco alcanzar la autosuficiencia en el abasto de este importante alimento, necesario para el desarrollo de una población infantil que en el futuro serán los recursos humanos con los que cuenta nuestro país.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- (1) Situación y perspectivas de los productos básicos.
F.A.O (Food and Agriculture Organization) 1992-1993.
- (2) Informe del censo 1993 del padrón de consumidores.
Programa de abasto social de leche.
Leche Industrializada Conasupo S.A. (LICONSA) 1994.
- (3) Charles Alais. Ciencia de la leche (Principios de técnica lechera). CECSA 1a. edición 1984.
- (4) Norma Oficial Mexicana. Alimentos lácteos.
Leche reconstituida con grasa vegetal.
Dirección General de Normas 1992.
- (5), (6) Charles Alais. op. cit.
- (7) Norma Oficial Mexicana. Alimentos lácteos. op. cit.
- (8) Diario Oficial de la Federación. México. 18 Enero 1988.
- (9), (10), (11) Manuales de operación y descripción de procesos.
Leche Industrializada Conasupo S.A. (LICONSA)
Planta Tlalnepantla, Méx. 1988.
- (12) Valiente Banderas Antonio. Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria. LIMUSA 1a. edición 1986.
- (13) Harper W. James. Dairy technology and engineering.
AVI Publishing Company Inc. USA 1976.
- (14) Pitts D. R. Siasom L. Transferencia de calor.
Mc. Graw-Hill 1a. edición 1977.

REFERENCIAS

- (15) APV CREPACO INC. Heat transfer handbook design and application of paraflow plate heat exchangers. 4a. edición 1989.
- (16) Harper W. James. op. cit.
- (17) Cristie J. Geankoplis. Procesos de transporte y operaciones unitarias. CECSA 2a. impresión 1986.
- (18), (19), (20), (21), (22), (23) APV CREPACO INC. op. cit.
- (24) Harper W. James. op. cit.
- (25), (26) Pitts D.R. Sisson L. op. cit.
- (27) Cristie J. Geankoplis. op. cit.
- (28), (29), (30), (31) APV CREPACO INC. op. cit.
- (32) Manuales de operación y descripción de procesos. op. cit.
- (33) Folletos técnicos para selección de equipo:
 - Tri-Clover Ladish Co.
 - APV CREPACO Co.
 - MYCOM Co.
 - RECOLD Co.
- (34), (35) Medina Nava Celia. Economía para ingenieros. Alfa-Omega I.P.N. 1a. edición 1992.
- (36) Departamento de Productividad Industrial.
 - Leche Industrializada Conasupo S.A. (LICONSA)
 - Planta Tlaine pantla, Méx. 1988.