

82
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUÍMICA

T E S I S

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO
DE PASTEURIZACIÓN CON SERVICIOS INTEGRADOS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

LEONARDO GUTIÉRREZ BARRAGÁN

MÉXICO, D.F.

1998



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ESTADISTAS PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

2669.19



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. VALIENTE BARDERAS ANTONIO
VOCAL	PROF. DURÁN DOMÍNGUEZ MA. DEL CARMEN
SECRETARIO	PROF. SILVA PICHARDO GENOVEVO
1er. SUPLENTE	PROF. MÉNDEZ FREGOSO HÉCTOR
2do. SUPLENTE	PROF. PÉREZ CAMACHO MARIANO

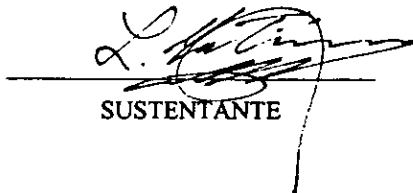
SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: ALFA LAVAL,S.A. DE C.V.
RÍO LERMA No.22 , TLALNEPANTLA, EDO. DE MÉXICO

SILVA PICHARDO GENOVEVO



ASESOR DEL TEMA

GUTIÉRREZ BARRAGÁN LEONARDO



SUSTENTANTE

Agradecimientos y dedicatorias:

A Dios; Creador de todo lo que existe.

A la Virgen María; Madre del Redentor y Esposa del Espíritu Santo.

A la Iglesia Católica; cuerpo Místico de Cristo por la Gracia y los valores que nos ha dado.

A México; mi Patria, por su riqueza espiritual y cultural.

A la Universidad; por todos los conocimientos y valores que me ha dado y me permite transmitir.

A mis Maestros; por su generosa vocación y en especial a mi Honorable Jurado.

A mis padres; por haberme hecho partícipes de la existencia a pesar de su sacrificio:

María del Carmen Barragán Cerda y todos sus familiares por todo lo que valen.

Daniel Gutiérrez Medina y todos sus familiares, en forma especial a mi primo José Refugio.

A mis hermanos:

Graciela, Laura, Miguel, Martha Lucina, Eduardo, Francisco, Daniel, Héctor, Eugenio y Víctor.

A mi esposa María Elena Alejandra; por su amor y gran entrega.

A nuestras hijas:

Gabriela, Patricia Elena, Lorena de Lourdes y Paola Guadalupe.

Al Colegio de Ciencia y Humanidades por todas las facilidades para la realización de este trabajo.

A la Cía. Alfa Laval, S.A. de C.V. por los conocimientos y experiencia profesional que me proporcionó. En especial por la confianza que en mí depositaron para la realización de mi primer proyecto del cual se derivó esta tesis.

CONTENIDO

	Resumen	
I.	Introducción y objetivos	1
II.	Generalidades y antecedentes	3
	2.1 Tanques de almacenamiento de leche bronca y pasteurizada	3
	2.2 Bombas centrífugas	4
	2.3 Tanque de balance	8
	2.4 Intercambiador de calor	8
	2.4.1 Intercambiador de calor a placas	12
	2.4.2 Pasteurizador completo	14
	2.5 Descremado y clarificación	14
	2.6 Cámara de desodorización	15
	2.7 Homogeneizador	15
III.	Características de los equipos seleccionados para integrar el proceso	17
	3.1 Selección del intercambiador de calor a placas	17
	3.1.1 Balances de materia y energía por sección para el cálculo de los servicios	25
	3.1.2 Selección de la bomba de alimentación de producto	27
	3.1.3 Sistema de calentamiento de agua	28
	3.1.4 Tanque de balance BTD 10	29
	3.2 Selección y descripción de los equipos complementarios y servicios	29
	3.2.1 Tanque de recibo de leche	29
	3.2.2 Tanque de leche pasteurizada	29
	3.2.3 Enfriador de agua 1	30
	3.2.4 Enfriador de agua 2	31

IV.	Diseño de la plataforma de montaje y tablero de control con diagrama mímico.	32
	4.1 Diseño de la plataforma de montaje	32
	4.2 Tablero de control con diagrama mímico	33
V.	Procedimiento de arranque operación y limpieza de la planta	35
	5.1 Procedimiento de arranque de la planta piloto	35
	5.2 Operación de la planta	35
	5.3 Procedimiento de limpieza de la planta	36
VI.	Conclusiones y recomendaciones	37
VII.	Bibliografía	38

Apéndice A. Nomograma para la evaluación de la velocidad de un líquido en tubería

Apéndice B. Curva de operación de la bomba tipo GM-1 A (marca Alfa Laval)

Apéndice C. Catálogo y datos técnicos de enfriadores de agua (marca Friomold)

Índice de tablas

Tabla

3.1.a. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval	20
3.1.b. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval	21
3.1.c. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval	22
3.1.d. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval	23
3.1.e. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval	24
4.1 Pesos de los componentes principales de la línea	33

Índice de figuras

Fig.	Pag.
2.1 Depósito de almacenamiento con agitador de paletas	16 a
2.2 Línea de proceso con un desnivel de 30 m	16 a
2.3 Bomba centrífuga	16 b
2.4 Capacidad o curva QH para una bomba	16 b
2.5 Curva del sistema con incorporación de la resistencia al flujo y la altura estática	16 b
2.6 La curva del sistema y la curva QH de la bomba determinan el punto de trabajo de la misma	16 c
2.7 Curva QH cuándo se bombean líquidos de viscosidades distintas	16 c
2.8 Curvas del sistema para líquidos de viscosidades distintas	16 c
2.9 El punto de trabajo de la bomba cambia cuándo se bombea un producto viscoso en vez de agua	16 c
2.10 Regulación de flujo por estrangulación	16 c
2.11 Control de la velocidad	16 c
2.12 Gráfico de la selección de bombas centrífugas	16 d
2.13 Depósito regulador con entrada de presión constante	16 d
2.14 Transmisión de calor a través de una pared	16 e
2.15 Intercambio térmico en contracorriente	16 e
2.16 Intercambiador de calor tubular	16 e
2.17 Detalle de los tubos concéntricos en un intercambiador de calor tubular de triple pared	16 f
2.18 Tubos enrollados en espiral	16 f
2.19 Intercambiador de calor con placas de conexión entre dos secciones	16 f
2.20 Diagrama de flujo en un intercambiador de calor de placas (canales simples)	16 f
2.21 Pasteurizador de placas con secciones regenerativas y bomba de refuerzo	16 g

2.22	Pasteurizador de placas con los accesorios para el control y la supervisión	16 g
2.23	Desnatadora autolimpiable semi-abierta (con disco centrípeto)	16 h
2.24	Principio de funcionamiento del disco centrípeto	16 h
2.25	Entrada y salida de nata y leche desnatada en una desnatadora hermética	16 h
2.26	Instalación de desodorizador	16 i
2.27	Sección de un homogeneizador	16 i
2.28	Corte del bloque de cilindros	16 j
2.29	Cabezal de homogeneización	16 j
2.30	Sección del cabezal de homogenización	16 j
3.1	Diagrama de flujo sin servicios	31 a
3.2	Diagrama de flujo con servicios	31 b
3.3	Plano isométrico del pasteurizador	31 c
3.4	Vista en planta de la planta piloto P20 HB	31 d
4.1	Arreglo de equipos en planta	34 a
4.2	Vista en planta de la planta piloto P20 HB	34 b
4.3	Vista frontal de la planta piloto P20 HB con los equipos periféricos ya integrados y montados sobre la plataforma	34 b
4.4	Vista de la planta piloto y de la sección de recibo de leche, se aprecia también el tanque de leche pasteurizada	34 c
4.5	Detalle de la planta piloto P20 HB marca Alfa Laval y del tablero de control que se diseñó para facilitar la operación	34 c
4.6	Vista lateral izquierda, se aprecia en el extremo izquierdo parte del enfriador de agua y del lado derecho, parte del tablero de control	34 d
4.7	Detalle interior del tablero de control	34 e
4.8	Isométrico del tablero de control	34 f

“ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE PASTEURIZACIÓN CON SERVICIOS INTEGRADOS”

RESUMEN

El proceso de pasteurización que actualmente se utiliza en la industria alimentaria para productos fluidos se lleva a cabo comúnmente en intercambiadores de calor de placas que contienen varias secciones de intercambio: regeneración de calor producto-producto, calentamiento de agua de servicio con vapor y enfriamiento con agua helada. Diseñado así el pasteurizador, se tiene la posibilidad de llevar a cabo el proceso comúnmente llamado HTST (High Temperature Short Time de sus siglas en inglés: Alta temperatura corto tiempo). La pasteurización consiste en un calentamiento del producto alimenticio hasta una temperatura apropiada y un tiempo de sostenimiento también conveniente para conseguir la muerte térmica de bacterias patógenas y subsecuente enfriamiento a la temperatura de conservación. Este proceso se lleva a cabo en forma continua, ya sea en una planta industrial o en una a escala piloto como la que se construyó para este trabajo, para lo cual se requiere de fuentes de calentamiento rápidas como un sistema de resistencias eléctricas (que sustituyen al vapor de una caldera en el proceso industrial) para la producción de agua caliente y los servicios de agua fría (análoga a la producida por una torre de enfriamiento), proveniente de un enfriador de agua tipo paquete (“chiller”) y un enfriador adicional que funciona produciendo agua helada (similar a la usada a escala industrial proveniente de un banco de hielo). La planta piloto de pasteurización (simple, sin servicios, que es el elemento importado) y los servicios van montados en una plataforma y todo listo para su funcionamiento con corriente eléctrica y la operación se controla en un tablero con botones de arranque y paro, así como un registrador de temperatura de pasteurización y un diagrama mímico que contiene el diagrama de flujo del proceso. Se probó el equipo en una corrida con agua antes de enviarla a su destino y funcionó correctamente. Lo interesante y novedoso de este proyecto fue el que al realizarse, se generó una metodología y proyecto de mayor alcance para integrar una planta piloto con los servicios necesarios para su correcta operación; asimismo, con la integración realizada en México se obtuvo una nueva planta que resolvió todos los requerimientos del usuario.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Los estudiantes de ingeniería en alimentos así como los profesionales que demanda la industria alimentaria, requieren de una correcta capacitación, la cual no estaría completa si dentro de su preparación no se familiarizaran con el manejo y operación de procesos de alimentos. Este trabajo, que versa sobre una planta piloto de pasteurización resulta ser de utilidad en un laboratorio de ingeniería en alimentos o en la misma industria, para la investigación de nuevos productos y la correcta selección de los parámetros que rigen su operación adecuada. Para este proceso, la temperatura de pasteurización y el tiempo de sostenimiento requerido para cada producto, tomando en cuenta las necesidades específicas, son las variables importantes. Para toda la industria láctea el proceso de pasteurización es indispensable y requerido por las autoridades sanitarias de los distintos países; sin embargo, es de hacerse notar que en nuestro país el 60% por lo menos, de la leche que se produce, se comercializa sin una correcta industrialización ya que mucha de ella se vende "bronca", o sea, sin ningún tratamiento, tal como viene del establo o bien en productos de tipo artesanal como los quesos frescos.

Para el 40% de la leche destinada a productos industrializados como leches pasteurizadas, yoghurts, queso, helados, leches recombinadas, etc, es indispensable la pasteurización con parámetros específicos para cada uno de ellos. El caso más general, que es la pasteurización de leche para consumo directo, consiste en elevar la temperatura a 72°C y sostenerla así durante 16 segundos y después bajarla rápidamente a 4°C. Este tratamiento elimina el 90% de los microorganismos, incluidos los patógenos presentes en la leche e inactiva algunas enzimas cuya presencia resulta dañina para el producto, por ejemplo la lipasa que produce la oxidación de los ácidos grasos. El 10% que permanece vivo no causa ningún daño al producto ni al consumidor mientras el primero se mantenga a una temperatura óptima de conservación de 4°C. Arriba de ésta, las colonias de microorganismos aumentan su número en proporción geométrica por hora-°C, y su acción descompondrá la leche acidificándola hasta un grado tal que su consumo ya no es sano ni recomendable.

Dado que en un pasteurizador la transferencia de calor se lleva a cabo generalmente a través de la superficie metálica de las placas que lo constituyen y éstas tienden a ensuciarse con los depósitos del producto que se esté tratando después de unas 8 a 16 horas de proceso, se requerirá de un ciclo de limpieza completa con detergente alcalino (a base de NaOH y de agentes humectantes y tensoactivos) y circulación de agua mediante un sistema de lavado "en sitio" llamado comúnmente CIP de sus siglas en inglés "Cleaning in place", ya que no se requiere en este sistema que el pasteurizador sea abierto para su lavado. Por esto mismo, quien opere esta planta piloto también se familiarizará con el sistema de lavado en sitio CIP (Brinte y col.,1992).

1.2 OBJETIVOS

La planta piloto de pasteurización objeto de este trabajo se propuso con el fin de dotar a las escuelas de lactología del país con una planta a escala en verdad piloto y didáctica, ya que por varios años se importaron "plantas piloto" similares, pero sin reunir las características de diseño y funcionalidad didáctica por tratarse de equipos industriales castigados a baja capacidad y con servicios no adecuados. La solución propuesta fue utilizar como base una auténtica planta piloto de pasteurización diseñada por una compañía sueca. Sin embargo; este producto comercial tampoco llenaba los deseos del usuario, por esto se procedió a diseñarla como una planta paquete con los equipos y servicios debidamente instalados en una plataforma de montaje, que sólo requiera conectarse a una toma de corriente eléctrica y al servicio de aire para instrumentos. Se hace notar que los servicios seleccionados para integrar el paquete y montarlos en la plataforma hecha en México, son equipos de fabricación nacional. Con este trabajo se contribuirá a establecer una metodología para integrar plantas piloto con los servicios necesarios para su correcta operación.

A continuación se presentan los principios generales de los equipos para la industria láctea que, en general, van incluidos en una línea de pasteurización.

II. GENERALIDADES Y ANTECEDENTES

El proceso de pasteurización llevado a cabo actualmente en las plantas modernas es el que se conoce como pasteurización rápida o "HTST" de sus siglas en inglés ("High Temperature Short Time"), alta temperatura corto tiempo y que es el que se aplica usualmente para la conservación de leche fluida, pero también para otros alimentos líquidos como jugos de frutas, bebidas, etc.

Debido a la presencia de microorganismos en los alimentos que, al actuar sobre éstos los modifican de tal forma que ya no son aptos para el consumo humano, hace muchos años Luis Pasteur ideó (en el año de 1860) el procedimiento térmico para la eliminación de estos microorganismos patógenos que lleva su nombre. Aunque el nombre de pasteurización se sigue usando en honor a su descubridor, el proceso actual es diferente al original, dado que ahora se cuenta con recursos técnicos que permiten realizar los procesos de regeneración de calor, calentamiento, sostenimiento y enfriamiento del líquido a pasteurizar de forma continua, que se lleva a cabo en un intercambiador de calor a placas, con la ventaja adicional en el ahorro de energía, tanto al calentar como al enfriar el producto ya que un pasteurizador correctamente diseñado debe regenerar al menos un 85% de calor.

Los productos alimenticios fluidos, deben conservarse siempre fríos antes y después del proceso de pasteurización ya que sólo se persigue la eliminación de microorganismos patógenos como el bacilo de la tuberculosis, los estreptococos áureos, etc. Para el resto de microorganismos, sin ser patógenos, se pretende que su proliferación sea mantenida al mínimo antes de que los productos sean consumidos.

Equipos de la línea de proceso

Una línea de proceso para leche clarificada, estandarizada, pasteurizada, desodorizada y homogeneizada, da una idea muy completa de los equipos y maquinaria usual en la industria láctea (Anónimo, 1980). Siguiendo dicha línea se tienen:

- 2.1 Tanques de almacenamiento de leche bronca y pasteurizada
- 2.2 Bombas centrífugas
- 2.3 Tanque de balance
- 2.4 Intercambiador de calor
 - 2.4.1 Intercambiador de calor a placas
 - 2.4.2 Pasteurizador completo
- 2.5 Descremado y clarificación
- 2.6 Cámara de desodorización
- 2.7 Homogeneizador

2.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LECHE BRONCA Y PASTEURIZADA

El tanque "silo" termoaislado tiene la función de almacenar la leche bronca, previamente clarificada y enfriada a 4°C y mantenerla a esta temperatura hasta su procesamiento (que

deseablemente, debe ser en forma inmediata). La leche del silo es la materia prima para un gran número de productos lácteos: leche fluida, mantequilla, yoghurt, queso, leche en polvo, productos asépticos, leche condensada y otros más.

La capacidad de los tanques silo normalmente está entre los 50,000 y los 100,000 litros, aunque los llega a haber hasta de 150,000 litros. Los tanques pequeños (25,000 L) se colocan dentro del edificio, mientras que los muy grandes son exteriores para reducir los costos de edificación. Los tanques silo exteriores son de doble pared y aislados, generalmente con lana mineral. El tanque interior es de acero inoxidable, con pulido en la cara expuesta al producto. La pared exterior es de placa de acero al carbón pintado con esmalte anticorrosivo.

La agitación en los tanques silo como se muestra en la figura 2.1, se lleva a cabo con un agitador tipo propela; de no ser así, la crema se separaría de la leche por la acción de la gravedad, dando como resultado un producto no uniforme, inadecuado para el proceso subsecuente.

La agitación deberá ser suave. Una agitación violenta provoca aireación de la leche y la desintegración de los glóbulos de grasa, los cuales quedarían expuestos al ataque de las lipasas. En tanques de mayor tamaño puede hacerse necesario colocar dos agitadores a diferentes alturas para conseguir un resultado bueno.

Otra forma de agitación que está ganando popularidad es mediante la dosificación de cantidades adecuadas de aire y a la presión conveniente a intervalos prefijados. Las burbujas de aire que salen de la parte baja del tanque, arrastran la leche al subir. En la parte alta del tanque la leche es forzada a bajar. La circulación resultante, mezcla la leche efectiva y suavemente.

Los accesorios comunes en los tanques silo son:

- Indicadores de temperatura
- Electrodo de alto y bajo nivel
- Indicador de tanque vacío.

Este último indicador da la señal de que el tanque ha quedado completamente vacío. De lo contrario cualquier cantidad de leche que permanezca, se perdería cuando la válvula de salida del tanque se accione durante la operación de enjuague. El otro riesgo es que la bomba continúe operando después de que el tanque este vacío, el aire se enviaría a la línea y afectaría a las etapas subsecuentes del proceso. En consecuencia, se coloca un electrodo (LLL) en la línea de vaciado para indicar cuando el resto de la leche ha abandonado el tanque. La señal de este electrodo puede usarse para conectar a otro tanque o para suspender la operación de vaciado.

2.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS

La Fig. 2.2 muestra una línea de proceso con una cabeza barométrica de 30 m de columna de agua entre el tanque y la línea de proceso. En ella se aprovecha la diferencia de alturas para hacer funcionar la línea por simple gravedad. Esta disposición se utilizó antaño en lí-

neas relativamente pequeñas. Actualmente, los requerimientos de caudal y rentabilidad son muy diferentes; ya que es necesario presionar grandes cantidades de líquido a través de líneas de tubería de diámetros angostos, con una buena cantidad de válvulas, codos y otros accesorios, así como a través de intercambiadores de calor a placas, filtros y otros equipos de proceso que causan pérdidas de presión. En consecuencia, las bombas deben ser colocadas en varios puntos de la línea para compensar las caídas de presión.

Sin embargo, durante el bombeo se agita el producto y por cada bomba colocada, se aumenta el riesgo de dañarlo. Para evitar esto es indispensable que:

- La bomba sea seleccionada correctamente para el servicio.
- La bomba sea del tamaño adecuado.
- La bomba se instale correctamente.

A continuación se citan las bombas más usadas en la industria láctea: la bomba centrífuga, la bomba de anillo líquido y la bomba de desplazamiento positivo. De todas estas la más ampliamente usada es la bomba centrífuga y sólo ésta será descrita.

Bombas centrífugas

Como se muestra en la figura 2.3 la bomba centrífuga consta esencialmente de un impulsor rotatorio dentro de una carcaza y un motor. El diseño del impulsor puede variar, pero generalmente consta de un número de aspas que junto con la carcaza forman canales cerrados para el líquido.

El impulsor puede ser del tipo parcialmente abierto o completamente abierto. Lo normal es que las aspas tengan una curvatura hacia atrás del sentido de giro, pero en algunas ocasiones las aspas son rectas en bombas de tamaño pequeño.

El líquido entra a la bomba axialmente en el centro de la carcaza y las aspas lo aceleran progresivamente hasta que finalmente se va a la periferia de las aspas. Entonces es conducido a la cámara de descarga, con una energía cinética alta impartida por las aspas. En la cámara, esta energía se convierte parcialmente en energía de presión - que imparte una energía de descarga al líquido. El valor instantáneo de esta presión siempre es igual a la resistencia del fluido o caída de presión para la línea de proceso a la que la bomba da servicio. Así, la energía transmitida por el motor al líquido a través del impulsor de la bomba se convierte en energía cinética y de presión, y algo se pierde como energía calorífica. Si se divide la suma de la energía cinética y de presión impartida a la descarga del líquido por la energía suministrada por el motor al impulsor, se obtiene la eficiencia de la bomba(η):

$$\eta = \frac{\text{energía cinética} + \text{energía de presión}}{\text{energía consumida por el motor}}$$

Diagramas de bombas

La parte de la energía cinética del líquido no convertida a energía de presión determina la rapidez y por ello el gasto en el sistema de tubería. Y conforme la energía de presión iguala la resistencia al flujo, mientras más grande es la energía de presión menor será el gasto. Ver la ilustración que da la curva de capacidad de la bomba Q vs H (fig. 2.4), gasto contra cabeza de bomba.

El eje vertical representa la presión de descarga en términos de altura de columna líquida H , mientras que el gasto Q se puede leer en el eje horizontal en litros /hora. Si se cierra completamente una de las válvulas de la línea, se maximiza la resistencia del flujo, toda la energía cinética de la descarga de la bomba se convertirá en energía de presión y la bomba obtendrá su presión de descarga máxima pero no habrá flujo. Si la válvula se abre gradualmente, la resistencia del flujo en la línea decrece y progresivamente menos de la energía cinética del líquido se convierte en energía de presión. Esto incrementa la velocidad del líquido y consecuentemente el gasto. Por ello, si la caída de presión en la línea es alto, el gasto entregado por la bomba es bajo y viceversa.

La curva de gasto - cabeza (Q - H) es una de las características de la bomba: además de esta curva Q - H el diagrama muestra:

- Curva de eficiencia en relación al flujo
- Consumos de potencia para varios gastos

La curva "gasto - cabeza" (Q - H) es la más importante y muestra en forma directa si la bomba se puede usar para el servicio requerido, es decir, si la presión de descarga disponible corresponde a la necesidad de gasto. En las curvas puede verse que la presión de descarga máxima a un flujo de 20,000 L/h corresponde a una cabeza (o columna líquida) de 24 m. La demanda de potencia del motor de la bomba a un gasto de 20,000 L/h es de 3.2 HP y la eficiencia de la bomba es de 60%. Esto significa que 40% de la energía del motor se pierde durante el bombeo.

La curva característica del sistema (Figs. 2.5 y 2.6) y la curva cabeza gasto Q - H determinan el punto de operación de la bomba.

Efectos de la viscosidad en el bombeo

Como las curvas características de las bombas suministradas por los fabricantes generalmente se relacionan al agua, si el líquido a bombear es diferente, como crema o algún producto con cultivo, deberá considerarse el efecto que la viscosidad tiene en el comportamiento. La figura 2.7 muestra la curva gasto cabeza (Q - H) cuando se bombean líquidos de viscosidades diferentes y la gráfica de la fig. 2.8 muestra la curva característica del sistema para líquidos de diferentes viscosidades.

La fig. 2.9 muestra las curvas de la bomba y la característica del sistema para el agua y un producto con viscosidad mayor. Claramente se ve lo importante que es considerar el efecto de la viscosidad en la selección de la bomba.

Cavitación

Como se sabe, el punto de ebullición de un líquido varía con la presión; mientras más reducida es ésta, es más baja la temperatura requerida para la formación de vapor. Si la presión es baja a la entrada del impulsor, puede ocurrir una vaporización local. En una bomba este fenómeno se llama cavitación, que se reconoce por un característico ruido en la bomba. Se puede evitar incrementando la presión en la succión de la bomba. Esto se puede hacer mediante la reducción de la caída de presión en la línea de succión, dando un diámetro de tubería mayor, línea de succión corta, la menor cantidad de válvulas y codos. También se puede conseguir elevando la cabeza de succión neta positiva (el nivel del líquido a la entrada de la bomba). Otra solución es, por supuesto, reducir la temperatura del líquido bombeado, siempre que se respeten las condiciones del proceso.

En una línea de procesos lácteos en donde los líquidos son tan sensibles a un tratamiento burdo, el riesgo de cavitación se debe eliminar completamente. De lo contrario el producto se degradará inevitablemente durante el proceso.

Control de flujo

Si la caída de presión sobre la línea fuera constante, la cantidad de líquido a fluir tendría un gasto fijo, determinado por la bomba; sin embargo, la caída de presión frecuentemente cambia debido por ejemplo al paso por un intercambiador de calor.

Algunas veces los cambios se hacen intencionales, mediante la estrangulación de la línea para incrementar la presión. El resultado en todos los casos es el mismo: la presión de descarga de la bomba se incrementa a costa de gasto.

En las lecherías se usan los siguientes métodos de control de flujo:

- Por estrangulación (Fig. 2.10).
- Por regulación con la velocidad de la bomba (Fig. 2.11).

Si lo que se desea es cambiar en forma permanente la velocidad del flujo, esto se puede obtener mediante la reducción del diámetro del impulsor.

Aplicaciones de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se pueden usar para manejar una gama amplia de líquidos, incluyendo aquellos que llevan sólidos en suspensión, siempre que la viscosidad no sea tan alta. Sin embargo, el claro de la bomba deberá ser lo suficientemente grande para permitir que las partículas en suspensión pasen libremente. Las bombas centrífugas instaladas y operadas correctamente, también se pueden emplear cuando se requiere de un tratamiento suave al producto. Si aún así el producto resultara demasiado sensible, se puede preferir la bomba del tipo de anillo líquido.

La bomba centrífuga no es autocebante. La línea de succión y la carcasa de la bomba deberán llenarse con el líquido para que trabaje. Si el líquido contiene mucho aire hay el peligro de que la bomba pierda la carga de succión y deje de bombear. En este caso se deberá parar la bomba y purgarla de nuevo para poderla arrancar nuevamente.

La instalación deberá efectuarse con gran cuidado para asegurarse de que no se está arrastrando aire a la línea de succión.

Selección de bombas centrífugas

Las bombas centrífugas vienen en capacidades hasta de 175,000 L/h y aún mayores. Para seleccionar una bomba se deberá conocer la curva característica del sistema para que la presión de descarga y el gasto se dimensionen para esos requerimientos.

La característica del sistema deberá calcularse sobre la resistencia máxima de la línea. Se deberá tomar en cuenta la altura máxima de descarga, así como la caída de presión máxima estimada, considerando las obstrucciones tales como incrustaciones en los intercambiadores de calor. En la Fig. 2.12 puede verse una carta de selección de bombas centrífugas.

2.3 TANQUE DE BALANCE

La figura 2.13 muestra un tanque de balance común, el cual tiene como función evitar algunos de los problemas asociados con el transporte del producto a través de la línea de proceso, por ejemplo:

- El producto a manejar deberá estar libre de aire u otros gases para que la bomba centrífuga opere adecuadamente
- Para evitar la cavitación, la presión en todos los puntos de la succión deberá ser mayor que la presión de ebullición del líquido a la temperatura de alimentación
- Para recibir el producto que no alcanzó la temperatura de pasteurización y fue desviado por la válvula de retorno a tanque de balance
- Para asegurar un flujo uniforme en la línea, la presión en la succión de la bomba deberá ser constante

2.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR

El calentamiento y el enfriamiento son una de las operaciones unitarias más importantes en la industria láctea, las cuales se llevan a cabo en un intercambiador de calor.

Toda transferencia de calor en la industria láctea se lleva a cabo por convección o por conducción. En el primer caso, el medio de calentamiento se mezcla con el producto que se va a calentar; esto se llama calentamiento directo y es usado por ejemplo:

- Para calentar agua; por inyección de vapor directo al agua, transfiriendo calor por ambos mecanismos de convección y de conducción

- Para calentar productos como la cuajada; en la fabricación de ciertos tipos de queso (mediante el mezclado de agua caliente con la cuajada) y para esterilizar la leche por el método directo (mediante la inyección de vapor).

El método directo de transferencia de calor es muy efectivo tratándose de conseguir un calentamiento rápido. Esto ofrece ciertas ventajas para algunos productos asépticos. Sin embargo, se involucra el mezclado del producto con el medio de calentamiento, lo cual demanda ciertas etapas de tratamiento en el proceso subsecuente, así como estricto control de la calidad del medio de calentamiento. El calentamiento directo está prohibido por la legislación de algunos países porque se introduce materia extraña al producto. Por estas razones en la industria láctea la transferencia de calor en forma indirecta es la usual. En este método una pared conductora se interpone entre el producto y el medio de calentamiento o de enfriamiento, así que el calor es transferido del medio a la pared metálica y de ésta al producto.

La Fig. 2.14 muestra el perfil de temperaturas a ambos lados de la placa o pared de intercambio de calor. Se supone que el medio de calentamiento es agua caliente que fluye en uno de los lados de la pared, mientras que la leche fría fluye del otro lado. La pared metálica es por lo mismo calentada del lado del medio caliente y enfriada por el lado del producto. A ambos lados de la pared metálica existe una capa límite. La velocidad de los líquidos que fluyen es frenada mediante la fricción casi hasta cero en la capa límite en contacto con la pared divisora. La capa que le sigue inmediata a la capa límite se frena sólo por el líquido de esta capa límite y por ello mismo tiene poca velocidad. La velocidad se incrementa progresivamente y se hace máxima en el centro del canal.

La Fig. 2.14 muestra la transferencia de calor a través de una pared conductora. El aparato usado para la transferencia de calor por el método indirecto recibe el nombre de intercambiador de calor. Existen varios tipos, pero para simplificar la descripción de la transferencia de calor se representa simbólicamente el intercambiador de calor por dos canales divididos por una pared conductora (ver fig. 2.15). El agua caliente fluye por uno de los canales, mientras que la leche fluye por el otro. El calor se transfiere a través de la pared conductora en la manera ya descrita e ilustrada en la Fig. 2.14. El agua caliente entra a su canal a una temperatura de T_{i2} y se enfría a una temperatura de T_{o2} a la salida. La leche entra en el intercambiador de calor a una temperatura de T_{i1} y se calienta por el agua caliente a una temperatura de salida de T_{o1} . Los cambios de temperatura que ocurren al pasar por el intercambiador de calor se ilustran por las curvas (perfiles de temperatura) de la Fig. 2.15.

Factores que influyen en la transferencia de calor

Los factores que tienen influencia en la cantidad de calor que se va a transferir en un intercambiador de calor se pueden dividir en tres categorías:

- Datos del proceso en sí
- Diseño del intercambiador de calor
- Propiedades físicas del producto y del medio de calentamiento o de enfriamiento.

Datos del proceso

El objetivo de una operación de transferencia de calor es la de calentar una cantidad dada de producto, tal como la leche, desde una temperatura de entrada dada hasta una temperatura de salida deseada. Esto se lleva a cabo en un intercambiador de calor con la ayuda de un medio de calentamiento que da calor a la leche y éste es enfriado desde una temperatura de entrada hasta una temperatura de salida deseada.

Para que la transferencia de calor se realice deberá de existir una diferencia de temperatura entre los dos medios. La diferencia de temperatura es así la fuerza directriz. Mientras el gradiente de temperatura es mayor, mayor será la cantidad de calor transferido.

Diseño del intercambiador de calor

La capacidad de transferencia de calor está determinada por el gradiente de temperatura y por la superficie de intercambio disponible. Además, conforme la transferencia de calor avanza, la diferencia de temperatura entre los medios cambia también a lo largo del intercambiador de calor; así, para poder calcular la cantidad de calor total transferido se debe primeramente calcular un valor de ΔT_{ml} .

Otro factor que determina también cuánto calor será transferido es el valor **K** (coeficiente total de transferencia de calor). Mientras mayor es el valor de **K**, más calor se puede transferir. Este valor es función de varios factores, incluyendo los flujos de los medios en cuestión, la viscosidad del producto, la forma de la superficie de transferencia y el material de la pared conductora.

La cantidad de calor transferido se puede calcular por la ecuación:

$$Q = KA \Delta T_{ml}$$

En donde : **Q** = cantidad de calor transferido
 K = coeficiente total de transferencia de calor
 A = Área de transferencia de calor entre los medios
 ΔT_{ml} = diferencia de temperatura media logarítmica

Dado que la mayoría de los productos lácteos son sensibles al calor, se deberá evitar un calentamiento brusco; esto se consigue haciendo que la diferencia de temperatura entre el medio caliente y el producto sea lo más baja posible. Si la superficie está muy caliente en relación al producto, hay el riesgo de que las proteínas de la leche coagulen y se depositen en la pared metálica. Este depósito agregaría un factor de resistencia a la transferencia de calor y por tanto el valor del coeficiente total de transferencia de calor **K**, se reduce.

El valor **K** también es afectado por un incremento o decremento en el flujo a través del intercambiador de calor, ya que esto afecta las características del flujo. Al incrementar la rapidez del flujo éste se hace más turbulento y se incrementa el valor de **K**.

Tamaño de la superficie de transferencia de calor

Al observar nuevamente la ecuación de la transferencia de calor, se ve que la mayoría de las variables están determinadas por las necesidades del proceso y por el diseño del intercambiador de calor.

- La velocidad del flujo está determinada por la capacidad planeada para la planta láctea
- La densidad y el calor específico están determinados por el producto
- La temperatura de entrada y salida están determinadas por las etapas del proceso precedentes y subsecuentes
- El coeficiente de transferencia de calor está determinado por el gasto y por el diseño del intercambiador de calor
- La diferencia de temperatura media logarítmica ΔT_{ml} entre el medio de calentamiento y el producto está determinado por la sensibilidad del producto al calor.

La única variable que queda es el tamaño del área de transferencia de calor. Ésta se puede ajustar a las necesidades de la cantidad de calor que se ha de transferir.

Caída de presión a través del intercambiador de calor

Para incrementar el valor de **K** y mejorar la transferencia de calor, se podría reducir el tamaño del canal de paso por donde fluye el producto. Esto reduciría la distancia entre la placa metálica y el centro del canal. Al mismo tiempo, sin embargo, el área de sección de paso de flujo se reduce, lo que llevaría a dos resultados: la velocidad de flujo a través del canal se incrementaría y esto a su vez haría el flujo más turbulento. Los productos sensibles a la agitación mecánica (como la grasa butírica) podrían sufrir con dicho tratamiento.

La caída de presión a través del intercambiador de calor también se incrementaría, es decir, la presión del producto antes del intercambiador se debería elevar para poder forzar al producto a través de canales más angostos, lo que haría necesaria la instalación de una bomba más robusta para elevar la presión.

Tipos diferentes de intercambiadores de calor

En la industria láctea es común encontrarse con diferentes diseños de intercambiadores de calor, los hay por ejemplo:

- De placas
- De espiral
- De "lamelas" (láminas) y
- De coraza y tubos

De estos el más apropiado para la industria láctea es el primero, los otros tipos tales como el de superficie raspada y diseños especiales de coraza y tubos, se usan para productos especiales.

Intercambiadores de calor de coraza y tubos

La figura 2.16 muestra un intercambiador de calor de coraza y tubos. La superficie de transferencia de calor consta de un número de tubos a través de los cuales pasa el producto. El medio de calentamiento fluye por fuera de los tubos, pero dentro de la carcasa. Otros tipos están equipados con tubos en forma de "U" en los cuales el producto fluye a través del intercambiador de calor en un sentido y luego de regreso por la otra pierna de la "U" aumentando con esto la cantidad de calor transferido.

Intercambiadores de calor de doble o triple tubos concéntricos

Los intercambiadores de calor de doble o triple tubo constan de tubos concéntricos, enrollados cilíndricamente para formar un solenoide. En el de tubo doble el producto fluye a través del canal central, rodeado por el medio de calentamiento o de enfriamiento en el canal exterior entre los dos tubos. En el de triple tubo el producto fluye a través del canal central, rodeado por el medio de calentamiento o de enfriamiento tanto por el canal interior como por el exterior. La Fig. 2.17 muestra los tres tubos concéntricos y la Fig. 2.18 una sección del intercambiador de calor de doble tubo en espiral. Los tubos dobles o triples se pueden usar en todas las secciones de un intercambiador de calor, por ejemplo para calentamiento con el medio de calentamiento, calentamiento regenerativo, sostenimiento, enfriamiento con el medio frío y enfriamiento regenerativo.

La eficiencia en la transferencia de calor es aproximadamente la misma que la de un intercambiador de calor de placas. A diferencia del intercambiador de calor de placas las de doble o triple tubo no tienen empaques que requieran servicio o inspección (que tratándose de un equipo sanitario siempre será deseable una observación directa de la efectividad de los sistemas de limpieza) a ciertos intervalos. Por lo contrario, por constar de un sólo canal tubular sin interrupción, no se puede abrir para verificar la eficiencia de la limpieza.

2.4.1 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS

La mayoría de los tratamientos térmicos en la industria láctea se llevan a cabo en los intercambiadores de calor de placas. El intercambiador de calor de placas frecuentemente abreviado por PHE (Plate Heat Exchanger) de sus siglas en inglés, consta de un paquete de placas de acero inoxidable sujetas a un marco. El marco puede contener varios paquetes independientes de placas, conocidas como secciones, en las cuales se realizan las diferentes etapas de tratamiento tales como precalentamiento, calentamiento final, sostenimiento y enfriamiento. El medio de calentamiento puede ser vapor al vacío o agua caliente, y el medio de enfriamiento puede ser agua helada o salmuera, dependiendo de la temperatura de salida deseada en el producto. La figura 2.19 ilustra el principio de calentamiento de un producto en el intercambiador de calor de placas (PHE).

Las placas del paquete tienen un corrugado especialmente diseñado para dar una eficiencia de transferencia de calor óptima. El paquete de placas se comprime firmemente en el marco, pero los puntos de soporte en las corrugaciones mantienen las placas separadas y for-

mando canales angostos entre ellos. La Fig. 2.19 es un dibujo explotado (con las placas separadas) para mostrar claramente el patrón de flujo. Los líquidos entran y salen de los canales por los agujeros de las esquinas de las placas. Por las combinaciones de los agujeros abiertos y cerrados se logra conducir a los líquidos de unos canales a otros próximos. Los empaques de hule sanitario (nitrilo o etileno propileno) rodean la periferia de la placa así como los agujeros para formar barreras de los canales y prevenir goteos.

El sistema para alternar el producto y el medio de calentamiento o de enfriamiento en los canales se ilustra esquemáticamente en la Fig. 2.20. Para conseguir una transferencia de calor eficiente, los canales entre las placas deberán ser tan estrechos como sea posible; pero si un volumen grande de producto tiene que pasar a través de esos canales angostos, tanto la velocidad de flujo como la caída de presión serían altos. Como ninguno de esos efectos es deseado; para eliminarlos, el paso del producto a través del intercambiador de calor a placas se puede dividir en un número de flujos paralelos. La Fig. 2.20 muestra cómo se hace esto. En este caso el flujo del producto está dividido en dos flujos paralelos, los cuales cambian de dirección cuatro veces en la sección. Los canales para el medio de calentamiento están divididos en cuatro flujos paralelos, que cambian de dirección dos veces. Esta combinación se escribe como:

$$\frac{4 \times 2}{2 \times 4}$$

Es decir, número de flujos paralelos por el número de pasos para el medio caliente, sobre el número de flujos paralelos por el número de pasos para el medio frío.

Pasteurizador con intercambio de calor regenerativo

La leche se calienta por la transferencia de calor del medio de calentamiento, a través de las placas del intercambiador de calor. Esto quiere decir que el medio de calentamiento se enfría al mismo tiempo; en forma análoga, el calor de la leche se transfiere al medio de enfriamiento en la sección correspondiente.

Dado que el proceso de pasteurización requiere tanto del calentamiento de la leche que entra y del enfriamiento de la leche ya tratada, esos dos pasos en el proceso se pueden llevar a cabo en la sección regenerativa del pasteurizador. La leche que ya se ha pasteurizado se utiliza como medio de calentamiento para la leche de entrada, ahorrándose así una gran cantidad de energía que puede ser hasta del 94%. Esta técnica se conoce como intercambio de calor regenerativo.

La Fig. 2.21 muestra el pasteurizador a placas con su sección de regeneración. Aquí, la leche fría entra a la sección regenerativa primeramente y se precalienta por la leche ya pasteurizada desde 6 hasta 71°C. Simultáneamente, la leche pasteurizada se enfría hasta cerca de 10°C. La leche precalentada sólo necesita de 4°C más (desde 71 a 75°C) con ayuda de vapor al vacío o de agua caliente en la sección de calentamiento final; mientras que la sección de enfriamiento final, sólo requiere un descenso de 6°C (desde 10 a 4°C).

2.4.2 PASTEURIZADOR COMPLETO

La Fig. 2.22 muestra un pasteurizador de leche completo con todo el equipo necesario para la operación, supervisión y control del proceso.

- Tanque de balance
- Bomba de alimentación
- Regulador de flujo
- Sección de precalentamiento regenerativo
- Sección de calentamiento
- Sección de sostenimiento
- Válvula de desvío
- Sección de enfriamiento.

2.5 DESCREMADO Y CLARIFICACIÓN

La separación centrífuga es un proceso muy común en las plantas lácteas. Ejemplos de su uso son :

- La clarificación: eliminación de impurezas sólidas de la leche previa a la pasteurización.
- Descremado: separación de la crema y de la leche descremada.
- Descremado de suero : separación de crema del suero.
- Tratamiento de bactofugación: eliminación de bacterias de la leche.
- Purificación de grasa de leche: separación de la fase suero de la grasa de leche.

Construcción de la separadora

Las separadoras centrífugas modernas son de dos clases: semi-abiertas y herméticas. En la separadora semi-abierta la leche se introduce al tazón del separador por la parte superior de la máquina y a la presión atmosférica a través de un tubo de entrada axial estacionario. La entrada del líquido se hace por el distribuidor en forma de campana, la leche se acelera a la velocidad de rotación del tazón antes de pasar a los canales de separación de la pila de conos. La fuerza centrífuga arroja a la leche hacia la periferia para formar un anillo con una superficie interior cilíndrica, ver Fig. 2.23. Esto está en contacto con el aire a presión atmosférica, así la presión de la leche en la superficie es la atmosférica y se incrementa progresivamente conforme se incrementa la distancia desde el eje de rotación hasta un máximo a la periferia del tazón.

En la separadora semi-abierta las salidas de crema y de la leche están equipadas con dispositivos de salida especiales llamados discos centrípetos. En estos discos centrípetos (véase Fig. 2.24) la energía cinética de la leche que gira a alta velocidad así como la crema, se convierten en energía de presión, así que los discos centrípetos bombean la leche descremada y la crema afuera de la máquina. A causa de este diseño a las separadoras semi-abiertas también se les conoce como separadoras de disco centrípeto.

En la separadora hermética (Fig. 2.25) la leche se introduce al tazón a través de un canal practicado en el eje vertical de la flecha de la separadora, es conocido como caño de alimentación del tazón. La leche se alimenta a la presión generada por una bomba centrífuga colocada en el fondo del caño de alimentación. Al entrar al tazón, la leche se acelera a la misma velocidad de rotación y es conducida hacia arriba y adentro de los discos para ser separada. El tazón de una separadora hermética está completamente lleno de leche durante la operación, por esto mismo no existe columna de aire en el eje. La separadora hermética se puede ver como parte de un sistema de tubería cerrado. La presión generada por la bomba centrífuga es suficiente para vencer la resistencia al paso de la separadora y para proveer de una presión de descarga moderada para la crema y para la leche descremada. Si se requiere de presión de descarga alta, deberán colocarse bombas ayuda en los alojamientos de salida.

2.6 CÁMARA DE DESODORIZACIÓN

El propósito de esta cámara que trabaja con un cierto grado de vacío, es el de eliminar malos sabores y oxígeno disuelto, el cual es perjudicial para el producto en sí y también provocaría quemaduras y depósito de producto sobre las placas del intercambiador de calor; adicionalmente se consigue proteger los pistones del homogeneizador. Debido a que este equipo requiere complementos periféricos complejos y costosos su utilización es económica sólo a partir de capacidades mínimas de 5,000 L/h.

La Fig. 2.26 muestra la posición del desodorizador dentro de una línea de proceso que lo incluye.

2.7 HOMOGENEIZADOR

La Figura 2.27 muestra una sección de un homogeneizador. Los principales componentes son una bomba de alta presión (normalmente una bomba de pistón con tres cilindros) y el cabezal de homogeneización (un dispositivo de contrapresión). La bomba es accionada por un potente motor eléctrico, a través de una transmisión de cigüeñal y biela, que convierte el movimiento de rotación del motor en un movimiento reciprocante de los pistones de la bomba. Los pistones se mueven en cilindros en un bloque de alta presión (ver Fig. 2.28). Se construyen de materiales muy resistentes. Los segmentos o anillos de los pistones evitan que entre aceite en el producto.

La Fig. 2.29 muestra los componentes del cabezal de homogeneización. Un anillo circular rodea a un núcleo de forma especial, con cuatro aletas. Estas piezas son pulidas con gran precisión y acopladas con un paso muy estrecho para la leche. El anillo de homogeneización se ajusta al anillo exterior de tal forma que la superficie interior sea perpendicular a la salida del espacio antes citado existente en el cabezal de homogeneización para la leche. La leche entra a una alta presión (100-200 Bar) en el espacio existente entre el anillo exterior y el núcleo (3). Ver detalle de la Fig. 2.29. En ese espacio estrecho, la presión tan fuerte que lleva la leche se convierte en energía cinética. De esta forma, la velocidad de la leche pasa a ser muy elevada (200-300 m/s) en el espacio citado. Cuando la leche lo abandona, choca a alta velocidad en el lado interior del anillo de homogeneización, obligándola a cambiar de dirección, tal y como se aprecia en la Fig. 2.30.

A continuación, en el capítulo III, se darán los criterios de selección de la planta piloto P20 HB de la marca Alfa Laval, se harán los cálculos de los servicios requeridos por la misma y se hará la selección de éstos y de los equipos complementarios para integrar el módulo de pasteurización completo.

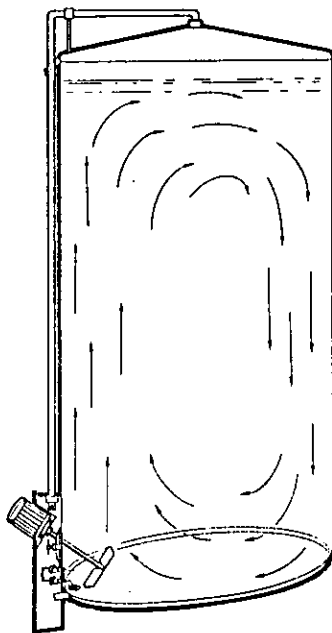


Fig. 2.1 Depósito de almacenamiento con agitador de paletas (Anónimo, 1980)

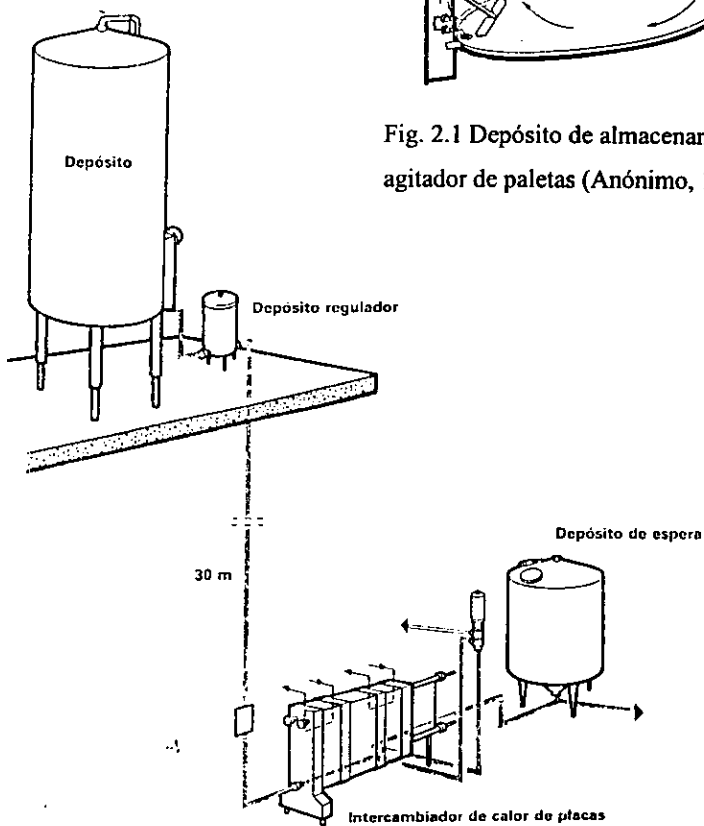


Fig. 2.2 Línea de proceso con un desnivel de 30 metros entre el depósito y el resto de los componentes (Anónimo, 1980)

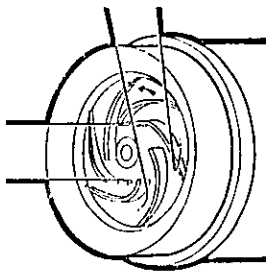
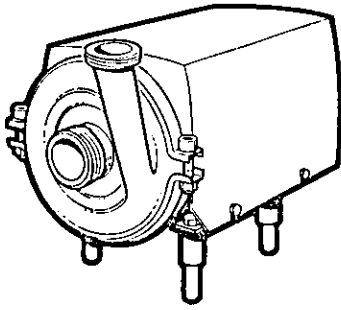


Fig. 2.3 Bomba centrífuga (Anónimo, 1980)

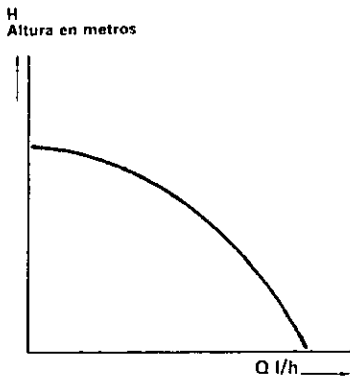


Fig. 2.4 Capacidad o curva QH para una bomba (Anónimo, 1980)

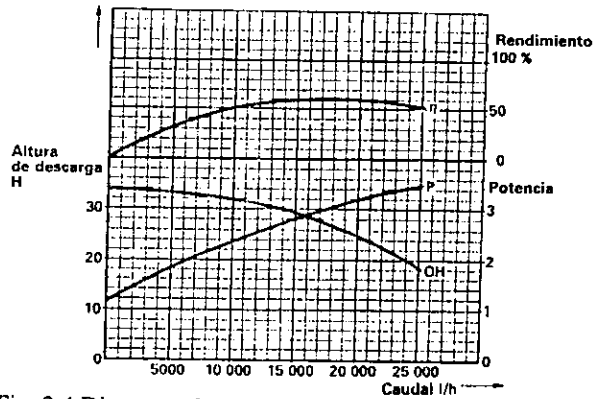


Fig. 2.4 Diagrama de una bomba (Anónimo, 1980)

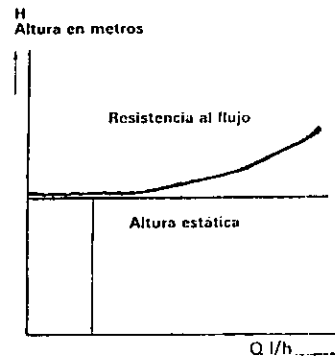


Fig. 2.5 Curva del sistema con incorporación de la resistencia al flujo y altura estática (Anónimo, 1980)

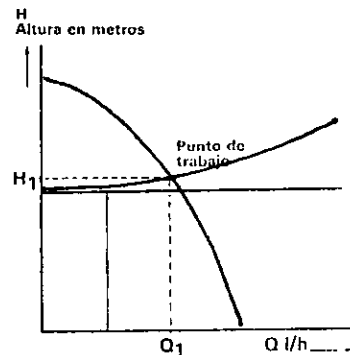


Fig. 2.6 La curva del sistema y la curva QH de la bomba determinan el punto de trabajo de la misma (Anónimo, 1980)

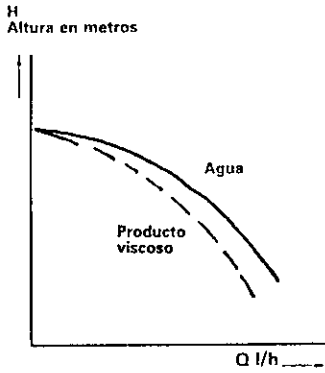


Fig. 2.7 Curvas QH cuando se bombean líquidos de viscosidades distintas (Anónimo, 1980)

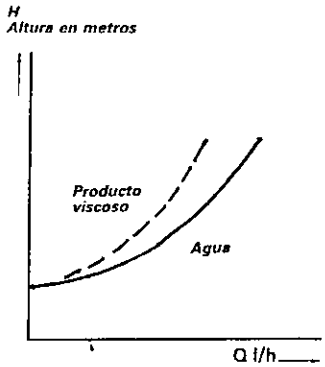


Fig. 2.8 Curvas del sistema para líquidos de viscosidades distintas (Anónimo, 1980)

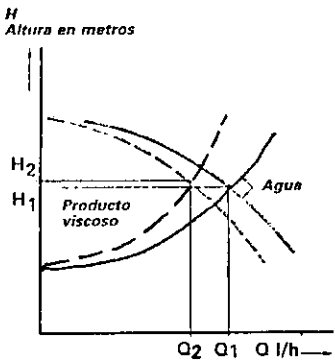


Fig. 2.9 El punto de trabajo de la bomba cambia cuando se bombea un producto viscoso en vez de agua (Anónimo, 1980)

Válvula de regulación

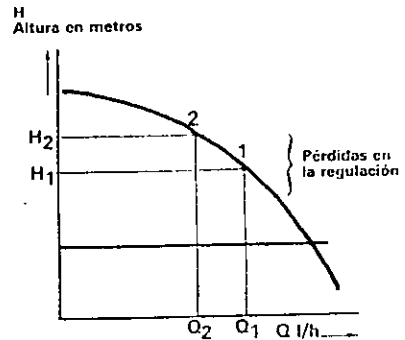
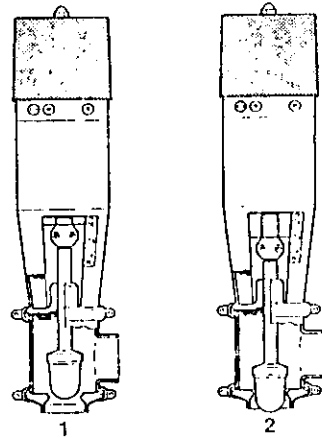


Fig. 2.10 Regulación de flujo por estrangulación (Anónimo, 1980)

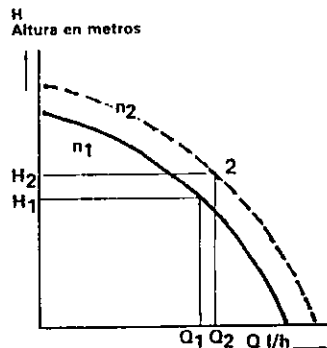


Fig. 2.11 Control de la velocidad (Anónimo, 1980)

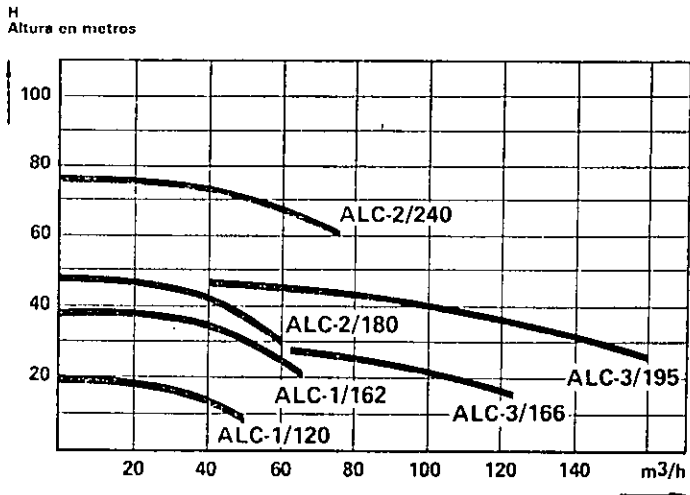


Fig. 2.12 Gráfico de la selección de bombas centrífugas
(Anónimo, 1980)

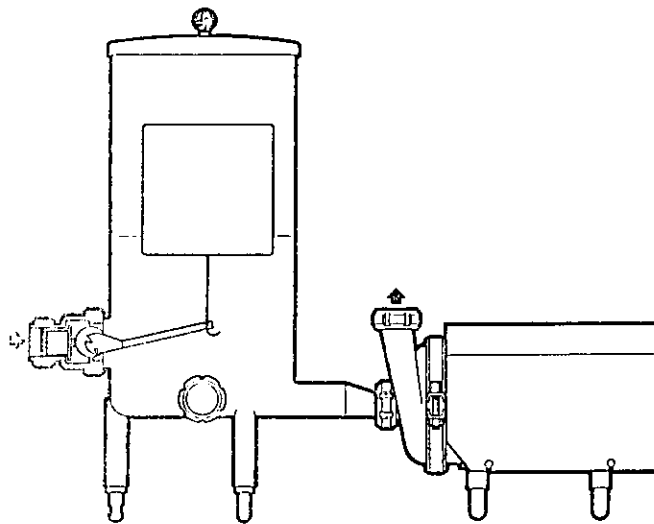


Fig. 2.13 Depósito regulador con entrada de presión
constante a la bomba (Anónimo, 1980)

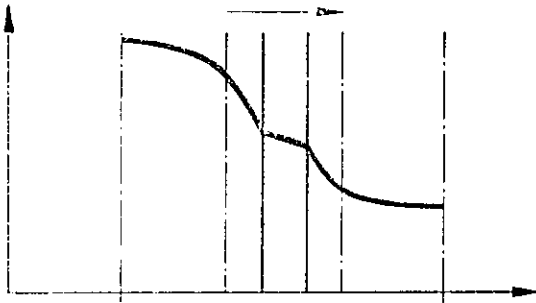


Fig. 2.14 Transmisión de calor a través de una pared
(Anónimo, 1980)

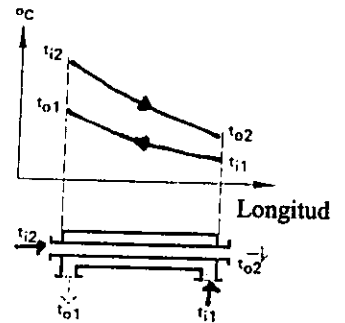


Fig. 2.15 Intercambio térmico en contracorriente
(Anónimo, 1980)

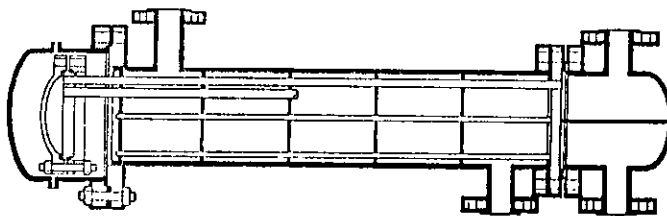


Fig. 2.16 Intercambiador de calor tubular (Kem, 1971)

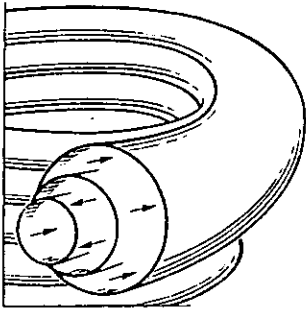


Fig. 2.17 Detalle de los tubos concéntricos en un intercambiador tubular de triple pared (Anónimo, 1980)

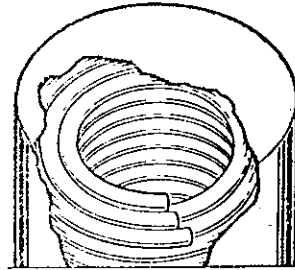


Fig. 2.18 Tubos enrollados en espiral la unidad va incluida en un bastidor de acero inoxidable (Anónimo, 1980)

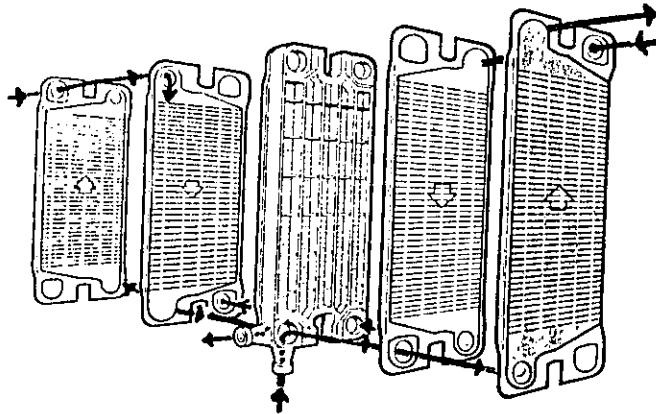


Fig. 2.19 Intercambiador de calor con placas de conexión entre dos secciones (Anónimo, 1987)

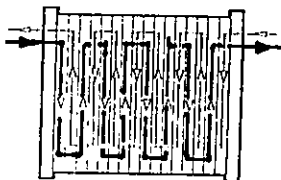


Fig. 2.20 Diagrama de flujo en un intercambiador de calor de placas (canales simples) (Anónimo, 1987)

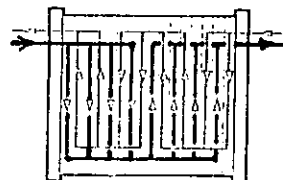


Fig. 2.20 Diagrama de flujo en un intercambiador de calor de placas: 4x2/2x4 (Anónimo, 1987)

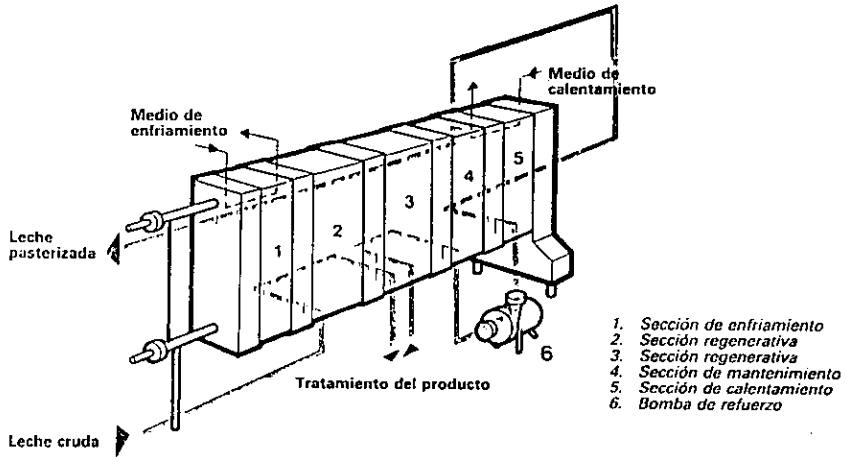


Fig. 2.21 Pasteurizador de placas con secciones regenerativas y bomba de refuerzo (Anónimo, 1980)

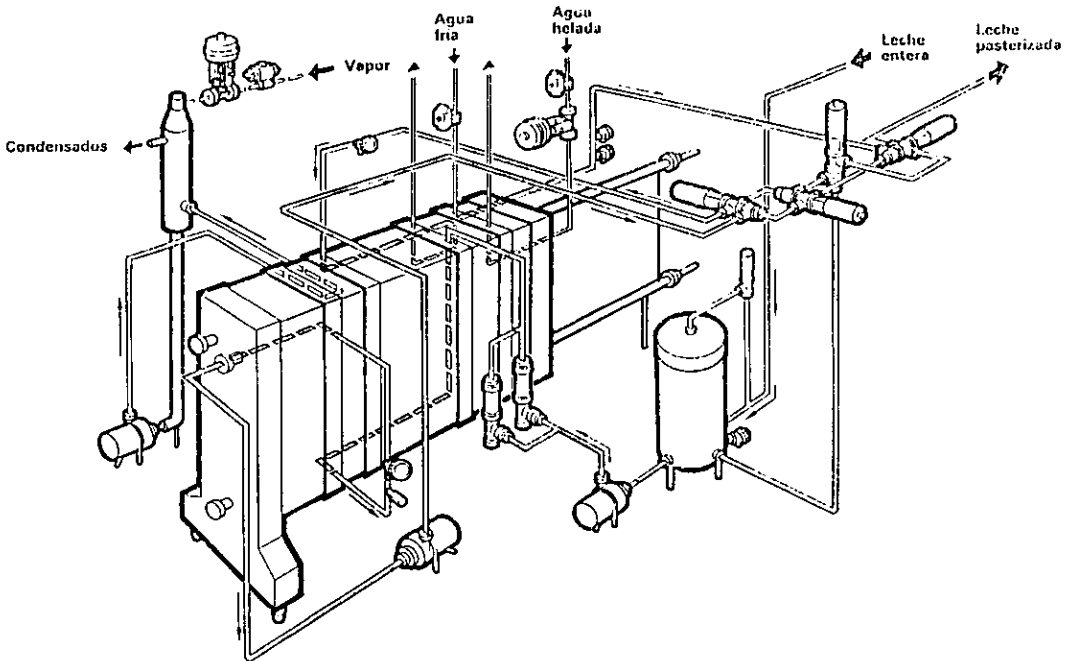


Fig. 2.22 Pasteurizador de placas con los accesorios necesarios para el control y la supervisión (Anónimo, 1980)

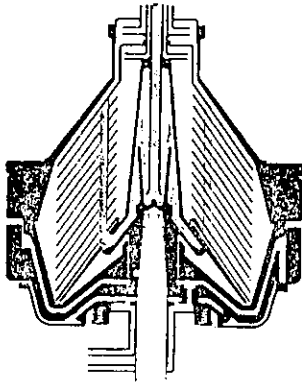


Fig. 2.23 Desnatadora autolimpiable semi-abierta (con disco centrípeto) (Anónimo, 1980)

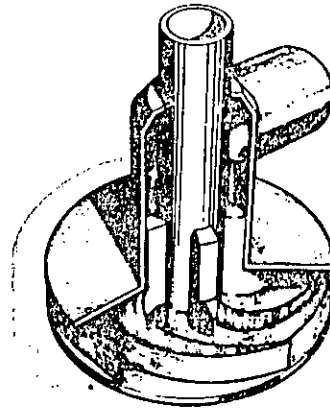


Fig. 2.24 Principio de funcionamiento del disco centrípeto (Anónimo, 1980)

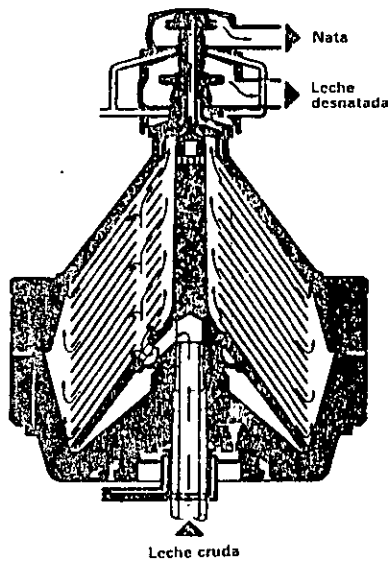


Fig. 2.25 Entradas y salida de nata y leche desnatada en una desnatadora hermética (Anónimo, 1980)

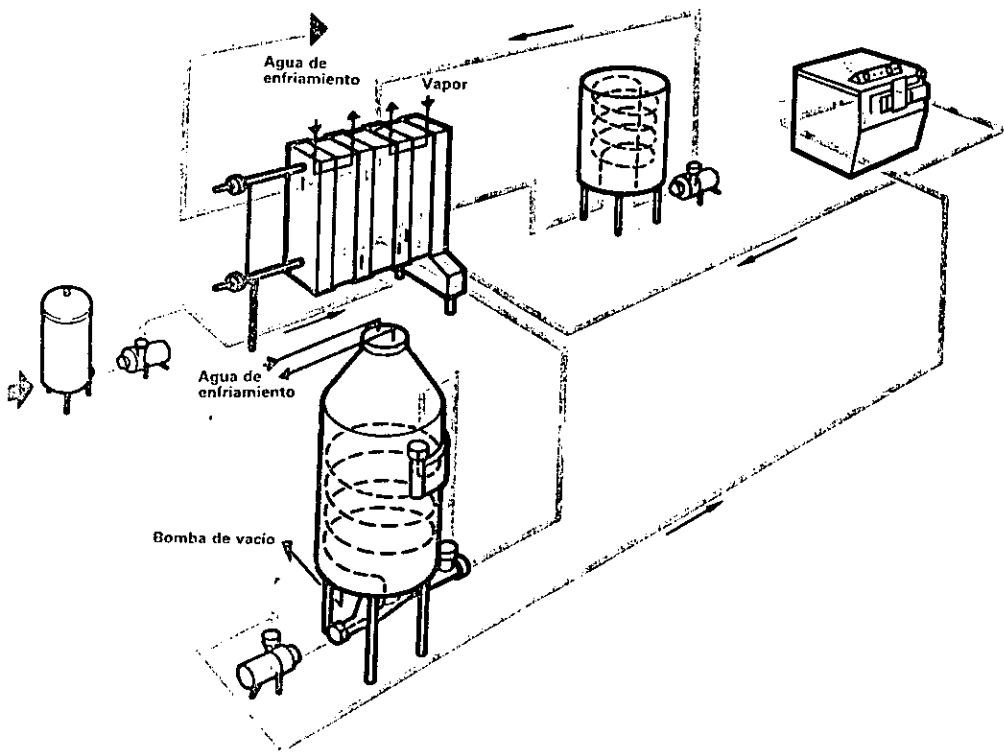
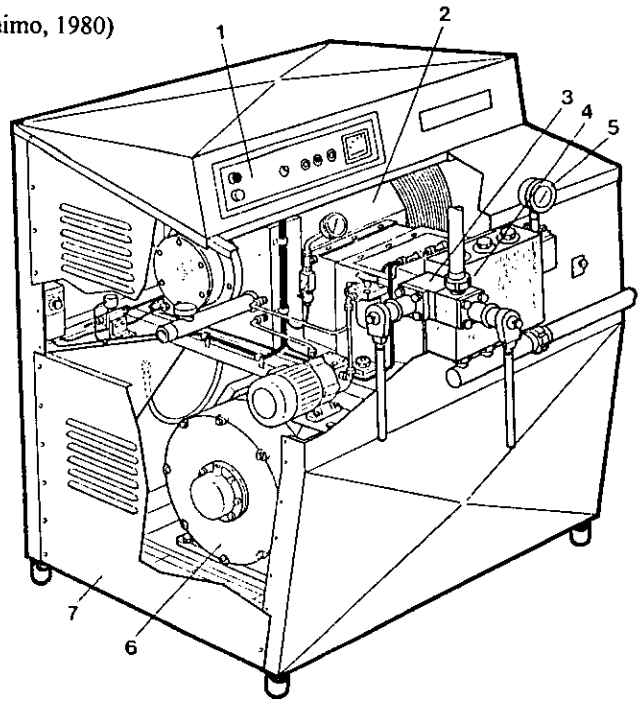


Fig. 2.26 Instalación de desodorizador (Anónimo, 1980)

Fig. 2.27 Sección de un homogeneizador:

- 1. Panel de control
- 2. Transmisión
- 3. Cabezal de homogeneización
- 4. Bloque de cilindros
- 5. Manómetro de alta presión
- 6. Motor
- 7. Bastidor

(Anónimo, 1980)



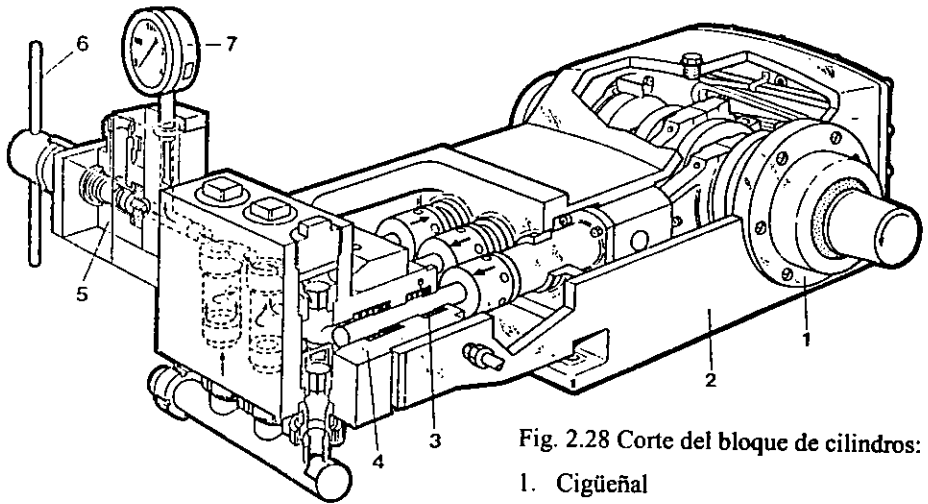


Fig. 2.28 Corte del bloque de cilindros:

1. Cigüeñal
2. Bloque de cilindros de alta presión
3. Anillos
4. Pistones
5. Cabezal de homogeneización
6. Volante
7. Manómetro de alta presión

(Anónimo, 1980)

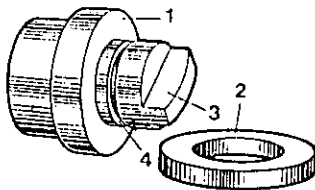


Fig. 2.29 Cabezal de homogeneización:

1. Anillo exterior
2. Anillo del cabezal
3. Núcleo
4. Abertura

(Anónimo, 1980)

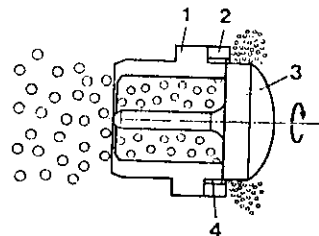


Fig. 2.30 Sección del cabezal de homogeneización:

1. Anillo exterior
2. Anillo del cabezal
3. Núcleo
4. Abertura

(Anónimo, 1980)

III. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS PARA INTEGRAR EL PROCESO

Se usó una planta piloto de pasteurización tipo P20HB marca Alfa Laval con capacidad de 200 L/h, que consta de:

- Tanque de balance BTD 10 (10 L de capacidad) con sistema de regulación de flujo por válvula con flotador
- Bomba centrífuga sanitaria tipo GM-1A III B para producto
- Intercambiador de calor de placas tipo P20 HB de 5 secciones de intercambio de calor (una de estas secciones es de sostenimiento)
- Sistema de calentamiento de agua con resistencias eléctricas y bomba de recirculación tipo GM-1A III B, fluxómetro, válvula reguladora y sistema de venteo con mirilla, como se ve en el diagrama de flujo sin servicios en la Fig. 3.1 y en la foto de la Fig. 3.4 que muestra la vista en planta de la planta piloto P20 HB.

Los equipos complementarios son:

Un tanque de recibo de leche de 50 L en acero inoxidable AISI 304

Un filtro en línea para leche

Un tanque de leche pasteurizada de 50 L en acero inoxidable AISI 304

Descremadora de leche marca Alfa Laval tipo Alfa 24 de 100 L/h de capacidad

Mantequillera de madera de alerce con capacidad para 8 L de crema

Dos "enfriadores" (equipo paquete para enfriamiento) para suministrar uno de ellos agua fría y el otro agua helada, como se ve en el diagrama de flujo con servicios de la Fig. 3.2.

Todos estos equipos van montados en una plataforma de acero al carbono con forro de acero inoxidable para obtener un acabado sanitario. Sobre la plataforma va montado también el tablero de control que es de acero inoxidable y lleva alojado el registrador de temperatura de la marca Taylor así como un diagrama mímico que describe el diagrama de flujo del proceso. En el capítulo IV se dan los detalles de la línea ya ensamblada.

3.1 SELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS

Este es el primer paso del cálculo de la línea de pasteurización, ya que de éste dependerán los cálculos de los demás componentes de la planta y servicios para la correcta operación del proceso.

Bases de cálculo

Producto: leche fresca con 12% de sólidos totales.

Capacidad: 200 L/h

Programa térmico: 35°C - 64.6°C - 72°C - 42.4°C - 23°C - 4°C

Porcentaje de regeneración 80%

Calculado por la ecuación:

$$\text{Regeneración} = \frac{(T_{\text{reg.}} - T_i) 100}{T_{\text{past.}} - T_i}$$

$$\text{Regeneración} = \frac{(64.6^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}) 100}{72^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}$$

$$\text{Regeneración} = \frac{29.6^\circ\text{C} \times 100}{37^\circ\text{C}} = 80\%$$

Con estos datos básicos se calcula y selecciona el intercambiador de calor de placas más adecuado para llevar a cabo el servicio. Más adelante se presenta la hoja de especificaciones del pasteurizador.

Este cálculo se realiza con una computadora personal mediante el uso del programa denominado **P 1**, que permite el cálculo de intercambiadores de calor a placas para los distintos tamaños comerciales del programa de suministros (Anónimo, 1990), que es propio de cada compañía. Para este caso se tomaron en cuenta los datos del producto: leche con 12% de sólidos totales (el programa P1 tiene alimentados todos los parámetros y propiedades físicas de los fluidos tales como leches enteras, leches descremadas y tiene la posibilidad de hacer ajustes en los contenidos de grasa).

Dado que se trata del cálculo de un pasteurizador que llevará varias secciones de intercambio de calor, se procede a alimentar al programa los datos del producto y los servicios que entrarán en juego: leche, agua caliente, agua fresca y agua helada.

La segunda etapa del programa de cálculo es el establecimiento de las corrientes y los parámetros:

Producto: leche, 200 kg/h

ΔP total = 50 kPa

Servicio 1: agua caliente, 355 kg/h

ΔP = 15 kPa

Servicio 2: agua fresca, 600 kg/h, (relación 3:1)

ΔP = 30 kPa

Servicio 3: agua helada, 600 kg/h, (relación 3:1)

ΔP = 30 kPa

Dado que un pasteurizador siempre será un intercambiador de calor que contiene varias secciones de intercambio de calor, se tendrán que especificar las corrientes involucradas en cada sección o servicio. Según la experiencia, para la mayoría de estos cálculos con secciones múltiples conviene iniciar con la sección de regeneración térmica, ya que así, la computadora irá proporcionando el dato siguiente a alimentar a la próxima sección.

La sección II, la de calentamiento hasta la temperatura de pasteurización, es la siguiente:

Calentamiento de 200 kg/h de leche de 64.6 a 72°C mediante 335 kg/h de agua caliente alimentada a 75°C con retorno a 72.7°C. Cabe aclarar que el dato principal del proceso que en este caso son los 200 L/h de leche que se requieren calentar de 64.6 a 72°C mediante el uso de agua caliente de 75°C (dado que así se protege al producto con una ΔT baja, 3°C en este caso); el programa de cálculo está preparado para realizar los balances de materia y energía requeridos, por lo que el flujo de agua caliente necesaria lo calcula la máquina para cada sección.

Por tratarse de un equipo a escala piloto y ser conveniente calentar el agua de servicio con un sistema de resistencias eléctricas, para permitir un régimen lo más estable posible, se procura que la temperatura de retorno de agua al sistema no sea muy grande, para este caso se escogió una ΔT de aproximadamente 3°C.

La sección I del pasteurizador en este caso es de sostenimiento del producto a 72°C sin que se efectúe transferencia de calor. Por tratarse de un equipo de laboratorio resulta práctico el uso de placas de sostenimiento ya que el volumen requerido para proporcionar un tiempo de sostenimiento de 16 s no es muy grande.

Aunque la planta de pasteurización está diseñada para el producto leche entera de concentración de 12% de sólidos totales, el equipo tiene la flexibilidad para manejar otros productos que, a su vez, llevarían a otros programas térmicos y el sostenimiento adicional que fuese requerido se puede alcanzar colocando tubos de sostenimiento de distintos volúmenes para conseguir otros tiempos adecuados al tratamiento térmico requerido por el producto en cuestión. Una vez que la leche ha terminado el tiempo de sostenimiento de 16 s y si cumplió con la temperatura de pasteurización correcta, detectada por un termómetro *expofeso*, además del termopar conectado al registrador de temperatura, el producto cruzará la válvula de desvío del pasteurizador pasando directamente a la sección III (regenerativa) por el otro lado de las placas para preenfriarse de 72 a 39.4°C mediante los 200 kg/h de la leche alimentada a 35°C y precalentada a su vez hasta 64.6°C.

La sección IV del pasteurizador se calcula para enfriar leche de 42.4 a 23°C mediante el uso de agua de servicio proveniente del primer enfriador que se alimenta a 21°C y retorna a 27°C al mismo sistema cerrado de enfriamiento.

La sección V del pasteurizador se calcula para proporcionar el enfriamiento final de los 200 kg/h de leche desde 23 hasta 4°C mediante 600 kg/h de agua helada a 1°C proveniente del segundo enfriador al que retornará después de intercambiar su calor a través de las placas del pasteurizador, a 6.9°C.

El programa de cálculo presenta de conjunto las cinco secciones del pasteurizador y si todo corresponde a lo proyectado y no se requiere de ningún ajuste, se pasa a la siguiente etapa del programa de cálculo. Para realizar esta etapa del cálculo del servicio solicitado, se tiene que seleccionar un tamaño de intercambiador de calor a placas apropiado para el caso. El programa despliega el conjunto de aparatos disponibles y una vez seleccionado uno de ellos se pide a la computadora personal que calcule los arreglos de placas para el caso.

A continuación, la computadora proporciona el arreglo de placas por sección y los datos de comportamiento del producto: caídas de presión por sección, caídas de presión total del producto, velocidades del producto en los canales (las cuales deberán ser lo más uniformes posibles para no tener problemas a la hora de la limpieza en sitio, CIP, por sus siglas en inglés) al terminar de procesar el producto, las ΔTmL , obviamente la cantidad de placas requeridas para el arreglo y el área de transferencia de calor por sección y la total.

A continuación, en las tablas 3.1.a. hasta e se dan las hojas de datos técnicos del pasteurizador en la que se especifican cada una de las secciones del mismo.

Tabla 3.1.a. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval (No. 32271-1111-1)

Sección I		
Sección de sostenimiento		
Medio	Leche	Agua caliente
Flujo	200 kg/h	605 kg/h
Programa de temperatura	72 a 72°C	75 a 75°C
Caída de presión	21 kPa	
Localización de conexiones (1)		
Entrada	A12P	S4
Salida	S1	A14P
Material de conexiones(2)	SIS 2343	SIS 2343
Diámetro de conexiones	20 mm (15/19")	
Material en placas (3)	AISI 316 (ISO 20A)	
Espesor	0.5 mm	
Acabado	sin electropulido	
Material de empaques	nitrilo	
Superficie de transferencia de calor	0.0 m ²	
Agrupamiento de placas		
1x2+1x2+1x2+1x2+1x1		
Cantidad de placas	10	

(1): Ver isométrico para la localización de conexiones Fig. 3.3

(2): SIS 2343: acero inoxidable tipo 2343 (17% Cr/12% Ni/2.7%Mo)

(3): AISI 316: acero inoxidable tipo 316 (18%Cr/12%Ni/2.5%Mo)

**Tabla 3.1.b. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval
(No. 32271-1111-1)**

Sección II		
Sección de calentamiento		
Medio	Leche	Agua caliente
Flujo	200 kg/h	605 kg/h
Programa de temperatura	64.6 a 72°C	75 a 72.7°C
Caída de presión	6 kPa	15 kPa
Localización de conexiones (1)		
Entrada	A21	A14P
Salida	A12P	A13
Material de conexiones (2)	SIS 2343	SIS 2343
Diámetro de conexiones	20 mm (15/19")	
Material en placas (3)	AISI 316 (ISO 20A)	
Espesor	0.5 mm	
Acabado	sin electropulido	
Material de empaques	nitrilo	
Superficie de transferencia de calor	0.19 m ²	
Agrupamiento de placas		
1x3		
1x4		
Cantidad de placas	8	

(1): Ver isométrico para la localización de conexiones Fig. 3.3

(2): SIS 2343: acero inoxidable tipo 2343 (17% Cr/12% Ni/2.7%Mo)

(3): AISI 316: acero inoxidable tipo 316 (18%Cr/12%Ni/2.5%Mo)

**Tabla 3.1.c. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval
(No. 32271-1111-1)**

Sección III		
Sección regenerativa		
Medio	Leche	Leche
Flujo	200 kg/h	200 kg/h
Programa de temperatura	35 a 64.6°C	72 a 42.4°C
Caída de presión	35 kPa	41 kPa
Localización de conexiones (1)		
Entrada	A31	A23
Salida	A22	A34P
Material de conexiones (2)	SIS 2343	SIS 2343
Diámetro de conexiones	20 mm (15/19")	
Material en placas (3)	AISI 316 (ISO 20A)	
Espesor	0.5 mm	
Acabado	sin electropulido	
Material de empaques	nitrilo	
Superficie de transferencia de calor	0.37 m ²	
Agrupamiento de placas		
<u>1x3+2x2</u>		
3x2		
Cantidad de placas	14	

(1): Ver isométrico para la localización de conexiones Fig. 3.3

(2): SIS 2343: acero inoxidable tipo 2343 (17% Cr/12% Ni/2.7%Mo)

(3): AISI 316: acero inoxidable tipo 316 (18%Cr/12%Ni/2.5%Mo)

**Tabla 3.1.d. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval
(No. 32271-1111-1)**

Sección IV		
Sección de enfriamiento		
Medio	Leche	Agua fría
Flujo	200 kg/h	605 kg/h
Programa de temperatura	42.4 a 23°C	21 a 27.1°C
Caída de presión	5 kPa	19 kPa
Localización de conexiones (1)		
Entrada	A34P	A42
Salida	A43P	A41
Material de conexiones (2)	SIS 2343	SIS 2343
Diámetro de conexiones	20 mm (15/19")	
Material en placas (3)	AISI 316 (ISO 20A)	
Espesor	0.5 mm	
Acabado	sin electropulido	
Material de empaques	nitrilo	
Superficie de transferencia de calor	0.25 m ²	
Agrupamiento de placas		
<u>1x4</u>		
<u>1x5</u>		
Cantidad de placas	10	

(1): Ver isométrico para la localización de conexiones Fig. 3.3

(2): SIS 2343: acero inoxidable tipo 2343 (17% Cr/12% Ni/2.7%Mo)

(3): AISI 316: acero inoxidable tipo 316 (18%Cr/12%Ni/2.5%Mo)

**Tabla 3.1.e. Hoja de especificaciones técnicas del pasteurizador marca Alfa Laval
(No. 32271-1111-1)**

Sección V		
Sección de enfriamiento		
Medio	Leche	Agua fría
Flujo	200 kg/h	605 kg/h
Programa de temperatura	23 a 4°C	1a 6.9°C
Caída de presión	6 kPa	22 kPa
Localización de conexiones (1)		
Entrada	A43P	T1
Salida	T4	T2
Material de conexiones (2)	SIS 2343	SIS 2343
Diámetro de conexiones	20 mm (15/19")	
Material en placas (3)	AISI 316 (ISO 20A)	
Espesor	0.5 mm	
Acabado	sin electropulido	
Material de empaques	nitrilo	
Superficie de transferencia de calor	0.25 m ²	
Agrupamiento de placas		
1x4		
1x5		
Cantidad de placas	10	

(1): Ver isométrico para la localización de conexiones Fig. 3.3

(2): SIS 2343: acero inoxidable tipo 2343 (17% Cr/12% Ni/2.7%Mo)

(3): AISI 316: acero inoxidable tipo 316 (18%Cr/12%Ni/2.5%Mo)

Se ve en la tabla de especificaciones técnicas que la caída de presión total para el producto será de 114 kPa que resulta de sumar todas las caídas de presión de las secciones por las que pasa el producto.

Caída de presión total = $\Delta P_{\text{secc. I}} + \Delta P_{\text{secc. II}} + \Delta P_{\text{secc. III}} + \Delta P_{\text{secc. III}'} + \Delta P_{\text{secc. IV}} + \Delta P_{\text{secc. V}}$

$\Delta P_{\text{tot.}} = 21 \text{ kPa} + 6 \text{ kPa} + 35 \text{ kPa} + 41 \text{ kPa} + 5 \text{ kPa} + 6 \text{ kPa}$

$\Delta P_{\text{tot.}} = 114 \text{ kPa}$ (11.4 mca, metros columna de agua)

Este dato se usará para justificar la selección de la bomba centrífuga de alimentación de producto.

3.1.1 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA POR SECCIÓN PARA EL CÁLCULO DE LOS SERVICIOS

Sección I. Sostenimiento de temperatura

En esta sección no se presenta transferencia de calor ya que su función es la de proporcionar el volumen requerido por el producto para tener un tiempo de residencia de 16 s.

El cálculo del volumen de residencia, V, se evalúa con la ecuación:

$V = (\text{gasto de producto}) (\text{tiempo de sostenimiento})$, con lo que se obtiene V, volumen de residencia en L. Para el caso presente en el que el gasto del producto es de 200 L/h (sin hacer el ajuste por densidad ya que para este fin sería mínimo) y tomando un tiempo de sostenimiento de 16 s al sustituir valores se tiene

$$V = \frac{200 \text{ L/h} \times 16 \text{ s}}{3,600 \text{ s/h}}$$

$$\text{Volumen de residencia} = 0.888 \text{ L}$$

Este volumen lo proporciona la sección de placas de sostenimiento (especiales ya que llevan un empaque más grueso y circulará sólo el producto).

La cantidad de placas de sostenimiento requerido está dado por la ecuación:

$$\text{Cantidad de placas de sostenimiento requerido} = \frac{\text{volumen de sostenimiento requerido}}{\text{vol. por canal}}$$

al sustituirse los valores se tiene que

$$\text{Cantidad de placas de sost. req.} = \frac{0.888 \text{ L}}{0.088 \text{ L}}$$

$$\text{Cantidad de placas de sostenimiento requerido} = 10$$

Sección II. Calentamiento del producto

El calor requerido por la leche que va de 64.6 a 72°C (corriente principal, 1) está dado por Q_2 como sigue:

$$Q_2 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal / kg } ^\circ\text{C}) (72^\circ\text{C} - 64.6^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal / kg } ^\circ\text{C}) (7.4^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = 1,391.2 \text{ kcal}$$

La corriente 2, es el servicio de agua caliente requerida, m_2' y que se calcula con la ecuación:

$$Q_2' = m_2' C_p \Delta T \text{ y dado que } Q_2' \text{ debe ser igual a } Q_2 \text{ con la ecuación}$$

$$m_2' = \frac{Q_2}{C_p \Delta T} \text{ y al sustituirse los valores, se tiene que}$$

$$m_2' = \frac{1,391.2 \text{ kcal/h}}{(1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C})(2.3^\circ\text{C})} \text{ por lo que esto dará el flujo de agua caliente como sigue,}$$

$$m_2' = 604.87 \text{ kg/h de agua caliente}$$

Este balance sirve para la posterior selección del sistema cerrado de calentamiento de agua que será con resistencias eléctricas.

Sección III. Regenerativa

La corriente 1, constituida por el producto leche, con un gasto de 200 kg/h y mediante el uso de la ecuación: $Q = m C_p \Delta T$ se tiene que, al sustituir valores para Q_1 , calor a tomar por la leche a ser alimentada al pasteurizador

$$Q_1 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (64.6^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (29.6^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 5,564.8 \text{ kcal/h}$$

La corriente 1, que también es leche, pero que entra caliente por provenir de la sección de sostenimiento a 72°C y que a su vez será preenfriada a 42.4°C , al sustituirse los valores se tiene que Q_1' , calor a ser cedido por el producto ya pasteurizado al no pasteurizado

$$Q_1' = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (72^\circ\text{C} - 42.4^\circ\text{C})$$

$$Q_1' = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (29.6^\circ\text{C})$$

$$Q_1' = 5,564.8 \text{ kcal/h, que es el flujo de calor intercambiado regenerativamente.}$$

Sección IV. Preenfriamiento de leche con agua fresca del enfriador 1

El calor Q_4 es el que se requiere que transfiera la leche al medio de enfriamiento de esta sección, por lo que al sustituirse los valores se tiene que

$$Q_4 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (42.4^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C})$$

$$Q_4 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (19.4^\circ\text{C})$$

$$Q_4 = 3,647.2 \text{ kcal/h}$$

La corriente 2 de esta sección, es el servicio de agua fresca requerida, m_4' y calculada por la ecuación:

$Q_4' = m_4' C_p \Delta T$, y dado que Q_4' debe ser igual a Q_4 , despejando m_4' , que es el flujo de agua de preenfriamiento requerido, se tiene que

$$m_4' = \frac{Q_4}{C_p \Delta T}, \text{ y al sustituirse los valores en ésta se tiene que}$$

$$m_4' = \frac{3,647.2 \text{ kcal/h}}{1 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C} (6.1^\circ\text{C})}$$

$m_4' = 597.9 \text{ kg/h}$, que es el flujo de agua de preenfriamiento requerido.

Sección V. Enfriamiento de leche con agua helada proveniente del “enfriador” 2

El calor Q_5 es el que se requiere transferir de la leche al medio de enfriamiento de esta sección, por lo que al sustituirse los valores se tiene que

$$Q_5 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (23^\circ\text{C}-4^\circ\text{C})$$

$$Q_5 = (200 \text{ kg/h}) (0.94 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) (19^\circ\text{C})$$

$$Q_5 = 3,572 \text{ kcal/h}$$

La corriente 2, servicio de agua helada requerida, está dada por m_5'

$$Q_5' = m_5' C_p \Delta T$$

y dado que $Q_5 = Q_5'$ al despejar se tiene que

$$m_5' = Q_5 / C_p \Delta T \text{ y sustituyendo valores}$$

$$m_5' = \frac{3,572 \text{ kcal/h}}{(1 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C})(6.9^\circ\text{C}-1^\circ\text{C})}$$

$$m_5' = \frac{3,572 \text{ kcal/h}}{(1 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C})(5.9^\circ\text{C})}$$

$m_5' = 605.42 \text{ kg/h}$, que es el flujo de agua de enfriamiento requerido.

Los cálculos precedentes se refieren al diagrama de flujo de la planta piloto HTST (31814-0233) de la marca Alfa Laval que aparece más adelante en la Fig.3.1 (Diagrama de flujo sin servicios).

3.1.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO

Se usó una bomba centrífuga con diseño especial para la industria alimentaria. Los componentes en contacto con el producto están hechos de materiales resistentes a los ácidos. La carcasa de la bomba y el impulsor son de diseño especial para tratar el producto en la forma más suave posible; el diámetro del impulsor es de 93 mm fabricado en “nylon” reforzado

con fibra de vidrio. El sello estacionario de la bomba es de acero inoxidable a prueba de ácido y el sello de giro es de carbón.

Las conexiones son del tipo SMS (roscada con cuerda sinusoidal) de 38 mm de diámetro, el motor es trifásico de 60Hz, 220 / 440 V, 3600 rpm, directamente acoplado, con montaje al piso y potencia de 0.55 kW.

En la curva de operación de la bomba, que aparece en el apéndice B, se ve que para las condiciones de operación, a saber: 200 kg/h de leche y una caída de presión de 114 kPa, la bomba proporcionará una presión de aproximadamente 140 kPa (14 m columna de agua) por lo que resulta adecuada para el servicio requerido.

Dado que otra bomba de estas mismas características se ha seleccionado para el circuito de agua caliente se ve que para las condiciones de operación de 605 kg/h de agua y 15 kPa (1.5 m columna de agua) la bomba es también adecuada sólo que con el diámetro del impulsor reducido.

Nota : Ambas bombas llevan una reducción de diámetro tanto en la succión como en la descarga a 25 mm para facilitar la instalación en la alimentación del producto y el sistema de agua caliente con tubería de 25 mm (1"). El resto de la tubería de inoxidable para las líneas sanitarias es de 9.52 mm (3/8").

Al seleccionarse una tubería de 9.52 mm (3/8") para el producto se tendrá una velocidad de 0.45 m/s la cual es adecuada (Ver apéndice A, nomograma para la evaluación de la velocidad de un líquido en tubería), tanto para la producción como para la limpieza de la planta en sitio (CIP); dado que para este efecto, se requiere una velocidad mínima de 1.5 m/s en tuberías y ésta se puede lograr con la misma bomba, la cual durante la limpieza en sitio (CIP) deberá operar a 600 L/h para alcanzar dicha especificación (Anónimo, 1986).

3.1.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

Este sistema consta de una bomba centrífuga para la recirculación del agua caliente en el circuito con las características de la bomba ya mencionadas en la sección 3.1.2.

Lleva también un medidor de flujo tipo rotámetro para operar en un intervalo de 200 a 800 L/h dentro del cual queda comprendido el flujo de 605 kg/h de agua requerido por el sistema.

El flujo se ajusta mediante una válvula reguladora tipo aguja. Este flujo se alimenta al sistema de resistencias eléctricas para el calentamiento de agua, que es del tipo tubular de acero inoxidable con dos elementos calentadores, uno de 3 kW y otro de 1.5 kW.

Durante el arranque de la planta el agua de calentamiento se prepara haciendo uso de ambas resistencias eléctricas con objeto de alcanzar las condiciones de operación en corto tiempo, y una vez en la operación normal sólo trabaja una de las resistencias y la otra entrará a funcionar, sólo en caso de una baja de temperatura y esto, solo por breve tiempo hasta lograr de nuevo las condiciones deseadas para la operación normal. Para este caso la carga térmica

requerida es de 1,391.2 kcal/h según el cálculo previo en el balance de materia y energía para la sección II del pasteurizador.

Esta carga térmica la proporciona la resistencia eléctrica de 1.5 kW al agua que, a su vez, cede su calor a la leche en la sección II, de calentamiento de producto. Dado que la resistencia eléctrica de 1.5 kW proporciona sólo 1,290.75 kcal/h, la diferencia a 1,391.2 kcal/h, o sea 100.45 kcal/h se consigue mediante la resistencia eléctrica de 3 kW con un trabajo intermitente controlado por el termostato que lleva el sistema de calentamiento.

3.1.4 TANQUE DE BALANCE BTD-10

El propósito de este tanque de 10 litros de capacidad es el de proporcionar un flujo constante a la bomba centrífuga de alimentación de producto. Esto se consigue mediante el flotador que acciona la válvula de regulación, la cual se cerrará si el flujo es excesivo y se abrirá si es bajo con lo que se consigue una columna de líquido uniforme facilitando el trabajo a la bomba de alimentación de producto; lo cual beneficia la operación estable del pasteurizador.

Sin embargo, si hubiese necesidad de desviar el producto al tanque de balance por no haber alcanzado la temperatura de pasteurización, el tanque está preparado *exprofeso*, evitándose así, que el producto no pasteurizado se mezcle con leche ya pasteurizada; también se evita con esto mezclar la leche caliente con un volumen mayor de leche como lo podría ser el tanque de almacenamiento de leche sin pasteurizar que, en el caso de la planta piloto, es de 50 L pero en la industria llegan a ser de 10,000 L o más. El tanque de balance permite restablecer rápidamente las condiciones de operación de la planta. Adicionalmente también será útil a la hora de la limpieza in situ de la planta ya que en él se cargarán el agua con los agentes limpiadores y mediante recirculación de la solución limpiadora por el tiempo adecuado a cada caso se consigue dejar limpias las líneas de proceso y el pasteurizador; antes de su siguiente puesta en operación con producto de nueva cuenta.

Con lo descrito hasta aquí se concluye el análisis de los componentes de la línea de pasteurización piloto y se verifica que están bien calculados, que hay congruencia y que son adecuados para fines de laboratorio.

A continuación se hará la descripción de los equipos y servicios requeridos para que el proceso de pasteurización y la operación de la planta se pueda llevar a cabo.

3.2 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS COMPLEMENTARIOS Y SERVICIOS

3.2.1 TANQUE DE RECIBO DE LECHE

Se trata de un tanque de 50 L fabricado en lámina de acero inoxidable AISI 304 calibre 16, pulido interno y externo en acabado sanitario. Lleva tapa en acero inoxidable de las mismas características, está apoyado en tres patas de acero inoxidable con regatones de acero para su nivelación. La descarga de producto se efectúa mediante la conexión de salida de acero inoxidable de 38 mm tipo SMS (roscada con cuerda sinusoidal) y empaque de hule de ni-

trilo. Entre este tanque y el de balance se coloca una válvula sanitaria manual de tipo mariposa de 38 mm para descargar el producto, agua de estabilización o líquidos de limpieza a la línea de pasteurización piloto.

El llenado del tanque de recibo de leche se lleva a cabo por vaciado directo de los botes lecheros que se apoyan en un barandal de acero inoxidable con protección de hule. Dado que los botes lecheros tienen normalmente 40 L de capacidad, se requerirá vaciar uno cada 12 minutos para procesar los 200 litros de leche en una hora.

3.2.2 TANQUE DE LECHE PASTEURIZADA

Se trata de un tanque también de 50 L de capacidad de idénticas características que el de recibo de la leche bronca. Este tanque recibe la leche pasteurizada proveniente de la salida del pasteurizador por medio del tubo de salida de acero inoxidable de 19.05 mm ($\frac{3}{4}$ ""). La tubería descarga por la parte superior del tanque sobre la superficie de la lámina con objeto de evitar la producción de espuma. A esta disposición se le llama entrada antiespumante de un tanque. La descarga de la leche pasteurizada de este tanque se hace por abajo del tanque mediante una salida de 38 mm y válvula de mariposa del mismo diámetro.

3.2.3 ENFRIADOR DE AGUA 1

El enfriador de agua es marca Friomold modelo FM 7000 (según catálogo anexo en apéndice C), para enfriar 600 kg/h de agua de una temperatura de 27 a 21°C en la primera etapa de enfriamiento en el pasteurizador. Está integrado por un compresor hermético, condensador enfriado por aire, evaporador tipo inundado de cobre, tanque de almacenamiento de agua, motobomba, termómetros, tablero de control eléctrico y accesorios.

De la tabla de datos técnicos proporcionada por el proveedor (mostrada en el apéndice C) se tiene que:

La capacidad frigorífica es de 7,200 kcal/h (temperatura ambiente 25°C)

El gasto de agua máximo es de 2,300 kg/h

El motor del compresor es de 2.38 kW (3.25 HP), 220 V, monofásico, 24 A

La motobomba de circulación de agua es de 0.37 kW (0.5 HP), con una presión de descarga de 200 kPa. (2 kg/cm²)

El motor del ventilador es de 0.18 kW (0.25 HP).

Del balance de materia y energía previo para la sección IV del pasteurizador (primera sección de enfriamiento) se tiene que la carga térmica a eliminarse es de 3,647 kcal/h, operando entre 27.1 y 21°C por lo que la sobredimensión del equipo está justificada ya que su operación normal de diseño es a bajas temperaturas (entre 7 y 10°C) y la eficiencia se ve afectada cuando no opera así. Al aplicar el factor de corrección (0.78) para una operación de aire ambiente a 40°C, la capacidad real será de aproximadamente 5,616 kcal/h y por el otro factor antes dicho, la capacidad real se ve reducida aún más.

3.2.4 ENFRIADOR DE AGUA 2

El enfriador de agua es marca Friomold modelo FM 4500 (ver catálogo en el apéndice C), para enfriar 600 kg/h de agua de una temperatura de 6.9 a 1°C para suministrar agua helada a la sección V (2a sección de enfriamiento de leche) del pasteurizador.

Está integrado por compresor hermético, condensador enfriado por aire, evaporador tipo inundado de cobre, tanque de almacenamiento de agua, motobomba, termómetros, tablero de control eléctrico y accesorios.

De la tabla de datos técnicos (apéndice C) proporcionada por el proveedor se tiene que:

La capacidad frigorífica es de 4,500 kcal/h (temperatura ambiente 25°C)

Gasto de agua máximo de 1,500 kg/h

El motor del compresores de 1.47 kW(2 HP), 220 V, monofásico, 18 A

La motobomba de circulación de agua es de 0.18 kW (0.25 HP), con presión de descarga de 150 kPa (1.5 kg/cm²).

El motor del ventilador es de 0.18 kW (0.25 HP).

Del balance de materia y energía previo para la sección V del pasteurizador (segunda sección de enfriamiento) se tiene que la carga térmica a eliminar es de 3,572 kcal/h, operando entre 6.9 y 1°C por lo que este equipo queda justo para el servicio requerido. En este caso el equipo garantiza sólo una capacidad real de 3,735 kcal/h para una temperatura de aire ambiente de 35°C (factor de corrección de 0.83).

Hasta aquí se ha visto todo lo relativo a la selección de los componentes y equipos que integrarán la línea de proceso, por lo que cabe hacer mención que en el capítulo IV se darán las características de la plataforma que alojó a la línea ya ensamblada.

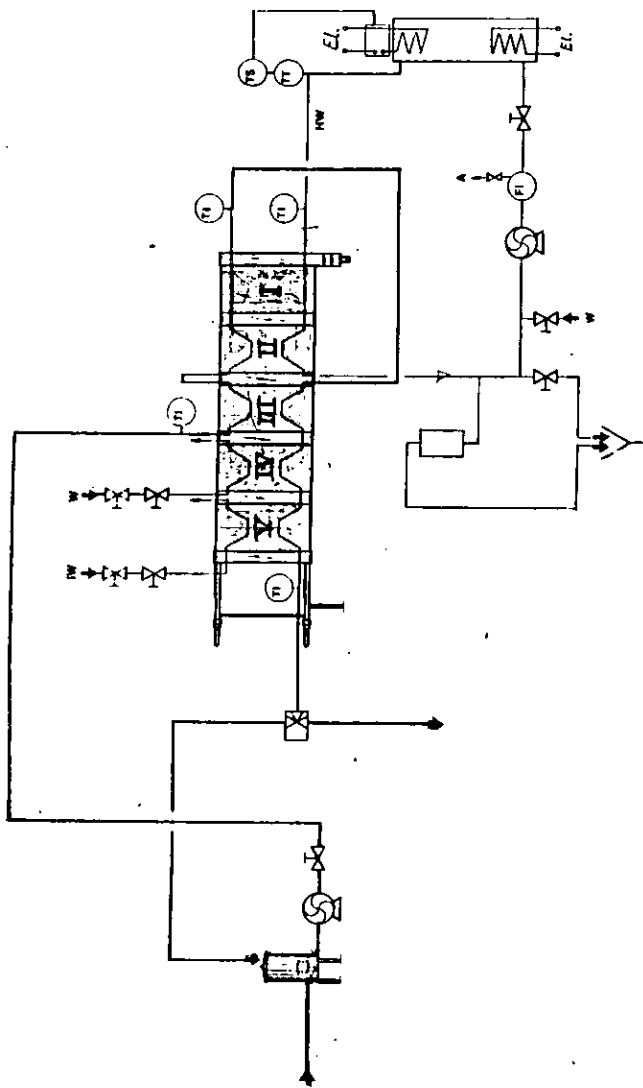


Fig. 3.1 Diagrama de flujo sin servicios

PLANTA PILOTO P20HB	TESIS
DIAGRAMA DE FLUJO SIN SERVICIOS	FAC. DE QUIMICA
REF. ALFA LAVAL N° 31814-0233	1997
	LEONARDO GUTIERREZ B.

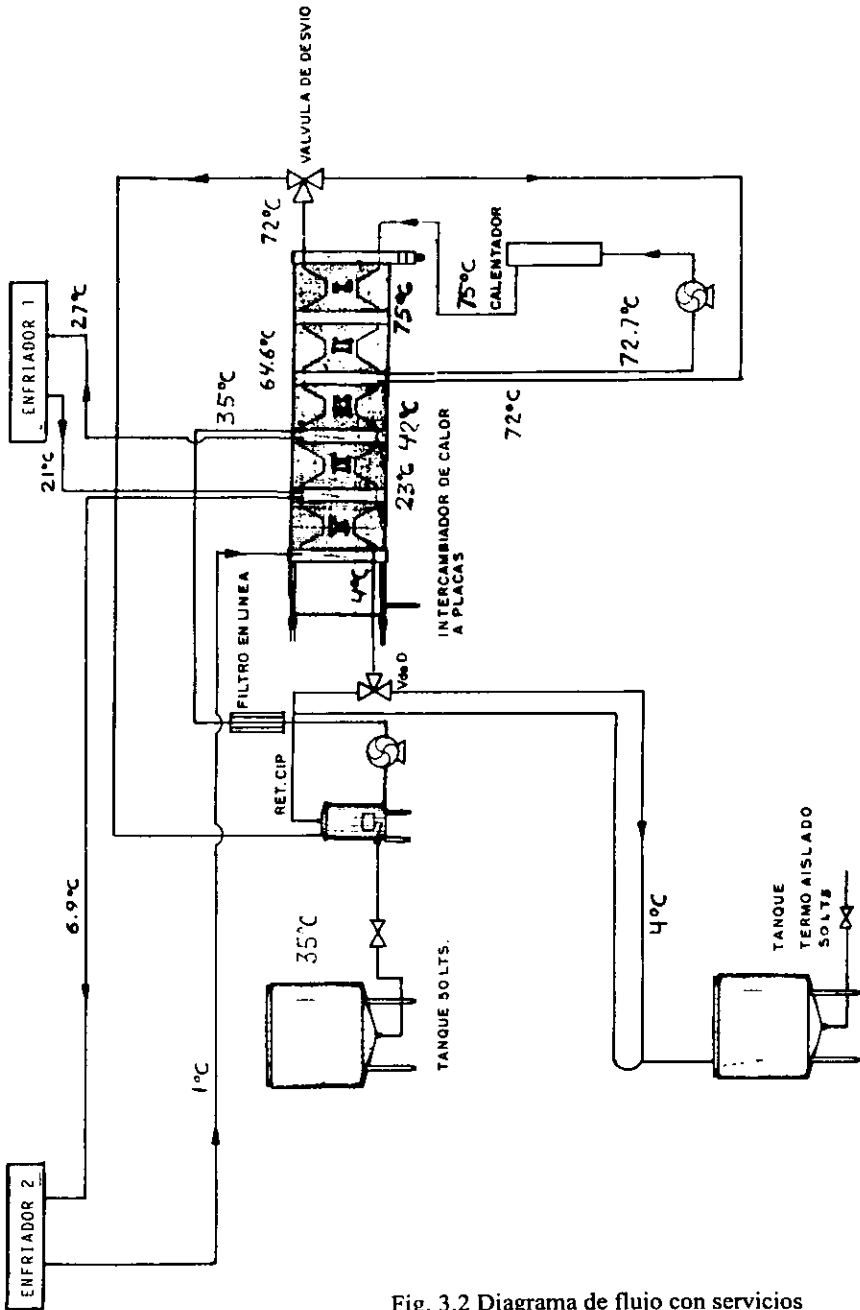


Fig. 3.2 Diagrama de flujo con servicios

PLANTA PILOTO P20HB	TESIS
DIAGRAMA DE FLUJO CON SERVICIOS	FAC. DE QUIMICA
LEONARDO GUTIERREZ B.	1997

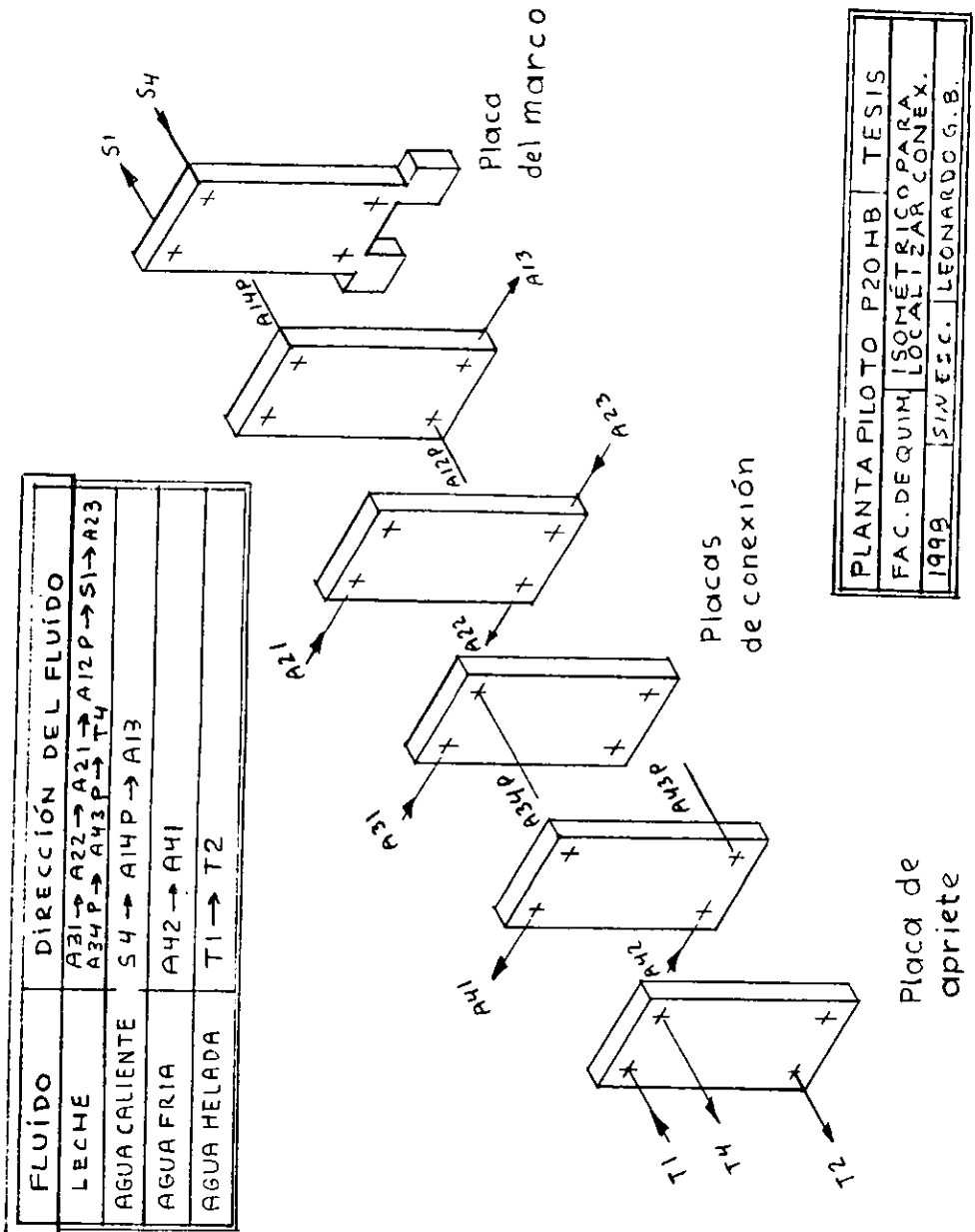


Fig. 3.3 Plano isométrico del pasteurizador

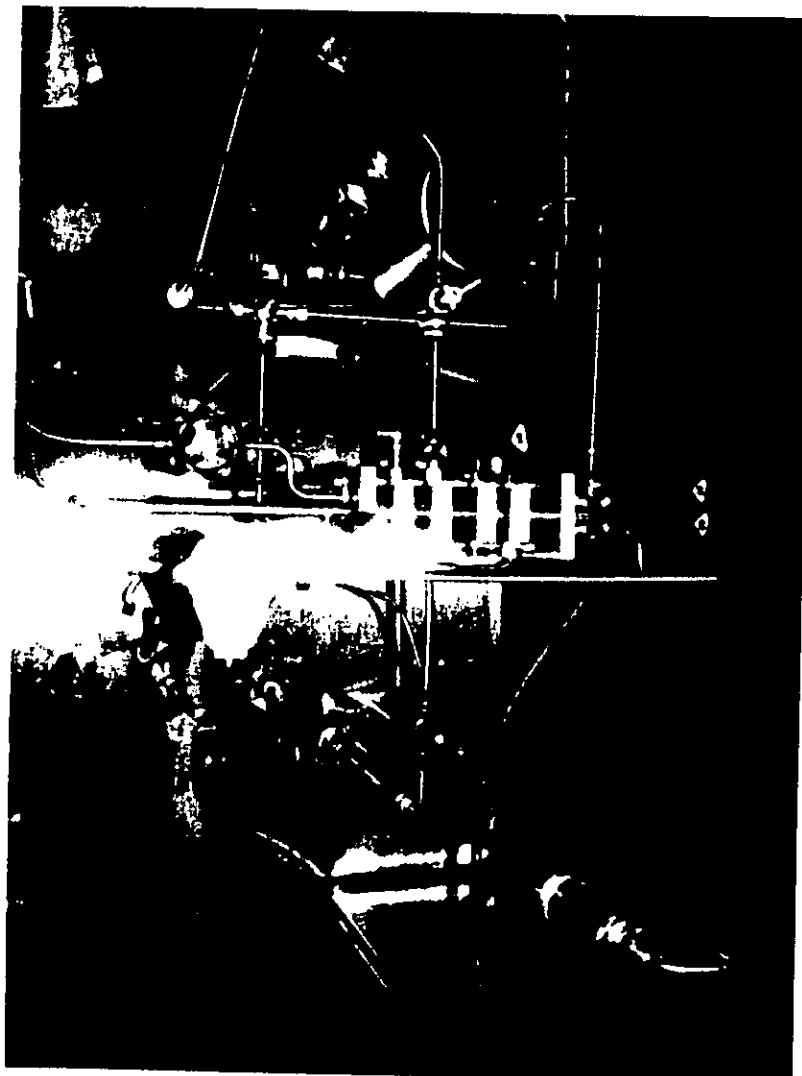


Fig. 3.4 Vista en planta de la planta piloto P20 HB

IV. DISEÑO DE LA PLATAFORMA DE MONTAJE Y TABLERO DE CONTROL CON DIAGRAMA MÍMICO

4.1 DISEÑO DE LA PLATAFORMA DE MONTAJE

Para facilitar el montaje de los componentes de la línea de proceso así como la integración de los servicios que la hacen operable, se diseñó una plataforma de montaje así como un tablero de control de los motores y partes eléctricas.

Después de la elaboración de varios levantamientos de equipos en planta se llegó al arreglo más compacto y funcional, tanto desde el punto de vista de la instalación misma de los servicios, como de las características didácticas que permitan al mayor número de estudiantes observar el proceso y operar adecuadamente la planta piloto (ver la Fig. 4.1).

La plataforma para el montaje de todos los equipos incluidos en el conjunto de pasteurización se construyó de fierro en estructura de canal tipo U de 76.2 mm (3") y lamina de fierro de 6.35 mm (¼") para dar el soporte mecánico, y para lograr las características de un área sanitaria, la plataforma fue recubierta con lámina de acero inoxidable AISI 304 calibre 11. Las dimensiones de la plataforma son: 2,800 mm x 1,850 mm x 300 mm de largo, ancho y alto respectivamente. Las 6 patas tubulares en que se apoya la plataforma son de acero inoxidable.

Como se aprecia en el levantamiento de equipos en planta (Fig.4.1) y en las fotos (Figs. 4.2 y 4.3), la línea de pasteurización se localiza en la parte anterior central de la plataforma por constituir la parte más importante del proceso. Los dos enfriadores que proporcionan el servicio de agua de preenfriamiento y enfriamiento se localizan en la parte posterior situados centralmente en la plataforma uno a la izquierda y el otro a la derecha (Fig. 4.3) para balancear la masa de los equipos sobre la plataforma y facilitar las maniobras de transporte del conjunto didáctico, pues por sus características, podrá ser colocado en distintos centros de enseñanza y los traslados tal vez frecuentes deben estar previstos. Del lado derecho se localizan los tanques de recibo de leche y el de leche pasteurizada (Fig.4.4). El primero al frente y el segundo ligeramente hacia atrás. Casi al centro de la mitad izquierda y al frente de la plataforma va colocado el tablero de control con diagrama mimico. Al frente en el extremo izquierdo va colocada la descremadora de leche Alfa 24 (Figs. 4.1 y 4.3). En este extremo pero al fondo va instalada por último una pequeña mantequillera de operación manual o con motor de 0.25 kW para corriente trifásica, 60 Hz, 220 V, construida en madera de alerce a prueba de agua y ácido con capacidad para 8 L de crema.

En la tabla 4.1 se dan los pesos de los componentes principales de la línea, sus dimensiones y el área ocupada en planta así como los consumos eléctricos de los equipos.

El peso total de la planta y la plataforma es de 1,135 kg. El consumo eléctrico total es de 10.61 kW.

Tabla 4.1**PESOS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA LÍNEA**

Componente	Peso	Dimensiones y área en planta	Consumo eléctrico
Planta piloto P20 HB	143 kg	1,07m x 0.75m = 0.80 m ²	5.60 kW
Enfriador 1, FM 7000	154 kg	0.75m x 0.50m = 0.38m ²	2.93 kW
Enfriador 2, FM 4500	130 kg	0.75m x 0.50m = 0.38m ²	1.83 kW
Tanque de recibo	9 kg	0.31m x 0.31m = 0.1 m ²	
Tanque de leche past.	9 kg	0.31m x 0.31m = 0.1 m ²	
Tablero de control	81 kg	0.50 m x 0.30 m = 0.15 m ²	
Descremadora	27 kg	0.32 m x 0.32 m = 0.10 m ²	
Mantequillera	32 kg	0.35 m x 0.45 m = 0.16 m ²	0.25 kW
<u>Plataforma de montaje</u>	<u>550 kg</u>	<u>2.80 m x 1.85 m = 5.18 m²</u>	
Total	1,135 kg		10.61 kW

4.2 TABLERO DE CONTROL CON DIAGRAMA MÍMICO

Las funciones de este tablero son las de controlar en lo posible desde un mismo centro el arranque y paro de los motores, motobombas y equipos eléctricos incluidos en el conjunto, diagrama mímico y el registrador de temperatura de pasteurización.

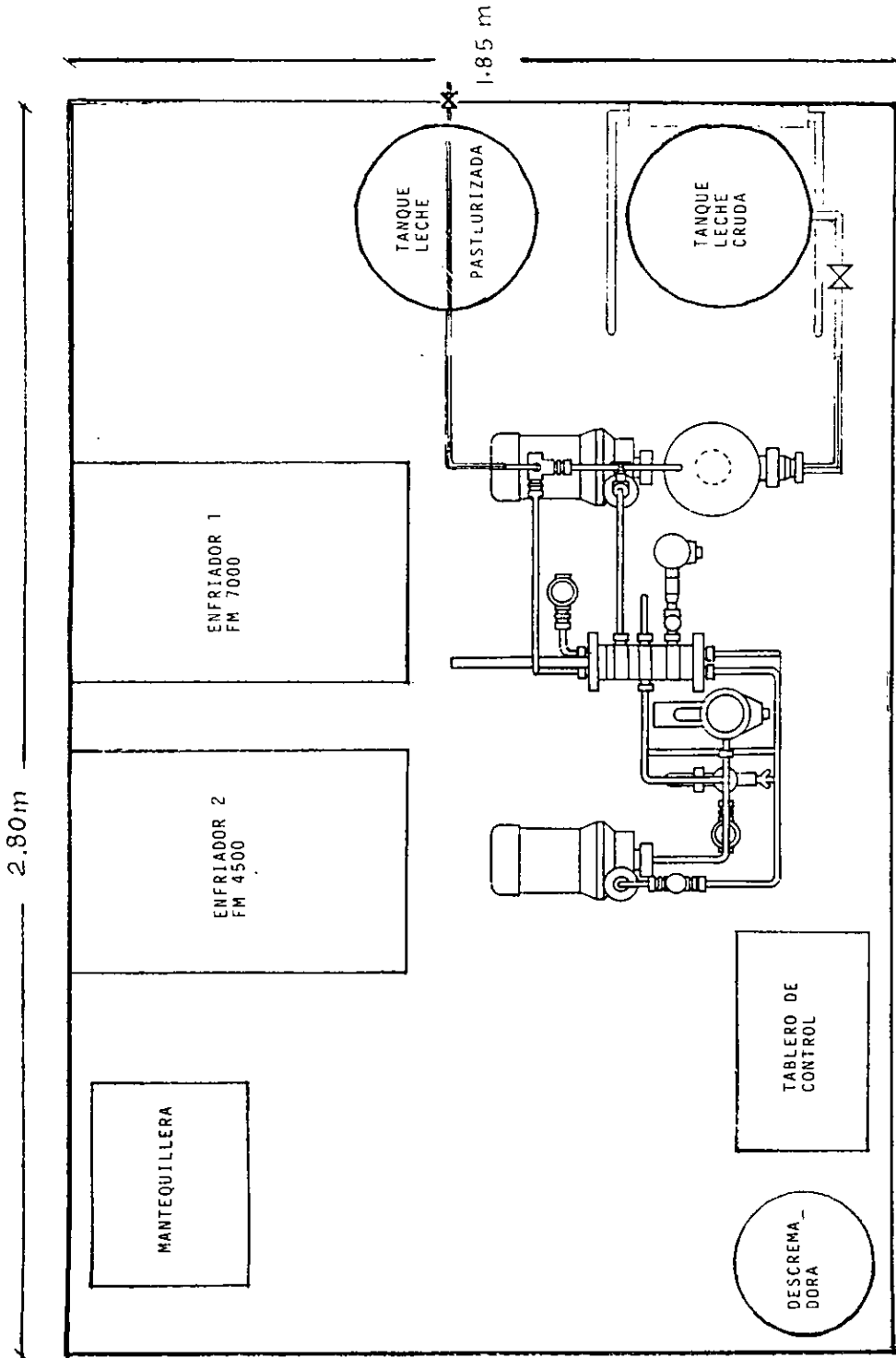
Este gabinete está construido de lámina de acero inoxidable y lleva puerta posterior con diseño a prueba de polvo y agua. Sus dimensiones son: largo 500 mm, ancho 30 mm y altura de 1,500 mm (Ver Figs. 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8).

En el frente lleva colocado en la parte superior el diagrama mímico. Debajo de éste va alojado el registrador de temperatura de pasteurización. Debajo de aquél van colocados los botones para el arranque y paro de la bomba centrífuga de alimentación de producto, bomba de agua caliente, resistencias para el calentamiento de agua y motor del tambor mantequillero.

La gráfica para el registro de temperaturas es de 30.5 mm (12") de diámetro con intervalo de temperaturas de 50 a 100°C accionada por motor eléctrico de una revolución cada 8 horas.

El arranque y paro de los enfriadores se controlan desde sus respectivos tableros y no desde el tablero general. La acometida de corriente eléctrica del tablero en cuestión es por la parte inferior del mismo.

En el capítulo V se verá lo relativo al procedimiento de arranque, operación y la limpieza de la planta.



PLANTA PILOTO P20 HB		TESIS
FAC. DE QUÍMICA	ARREGLO EN PLANTA	LEONARDO GUTIERREZ
ESC. 1:100	27-X-1996	BARRAGAN

Fig. 4.1 Arreglo de equipos en planta

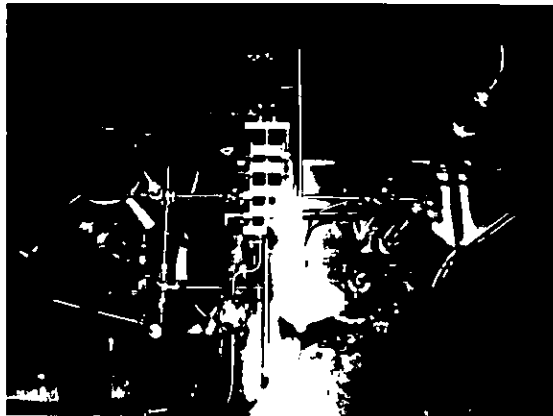


Fig. 4.2 Vista en planta de la planta piloto P20 HB

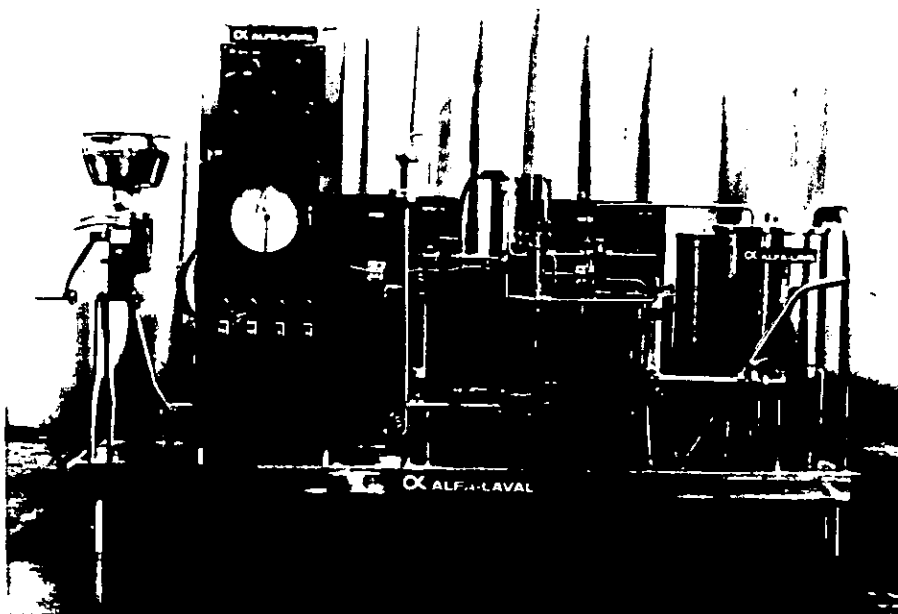


Fig. 4.3 Vista frontal de la planta piloto P20 HB con los equipos periféricos ya integrados y montados sobre la plataforma

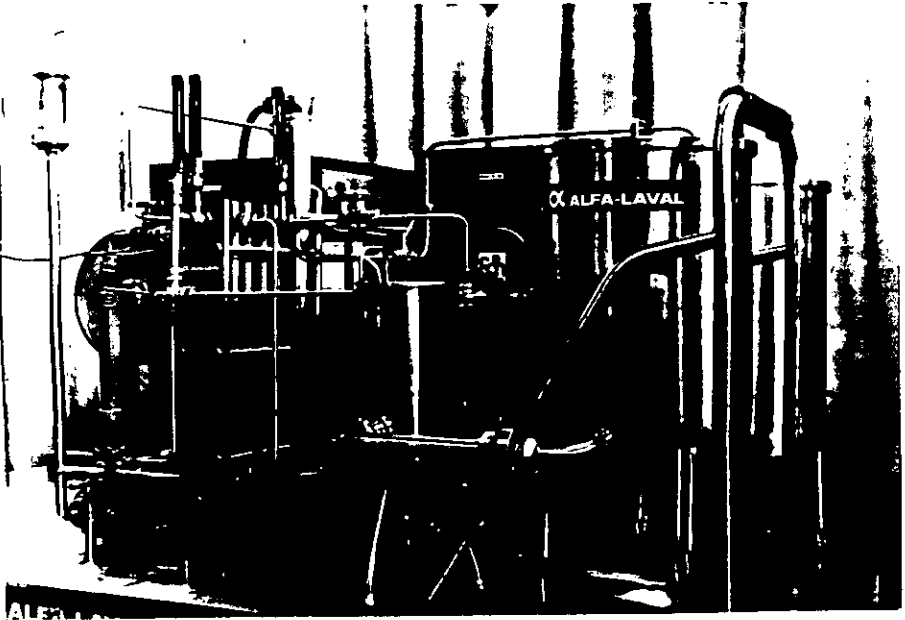


Fig. 4.4 Vista de la planta piloto y de la sección de recibo de leche, se aprecia también el tanque de leche pasteurizada

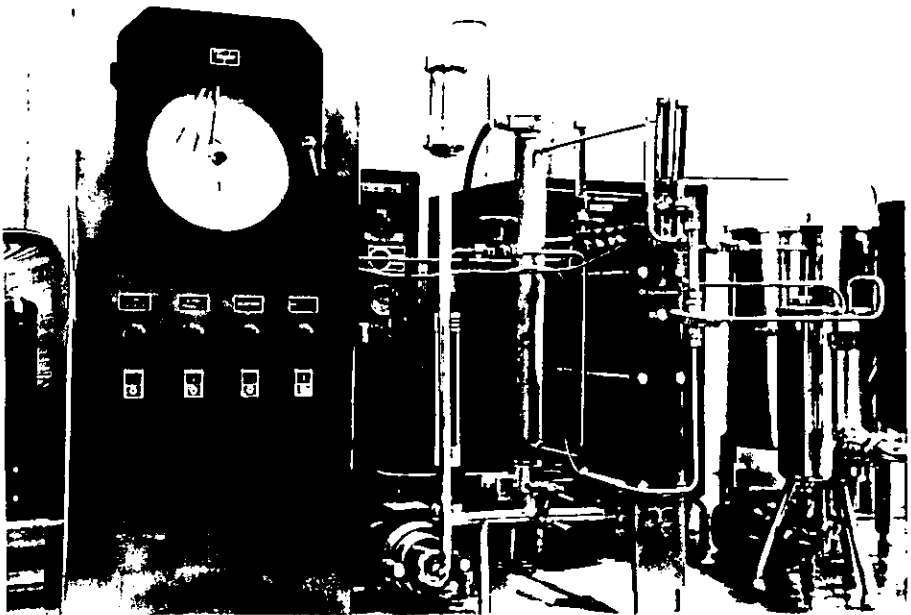


Fig. 4.5 Detalle de la planta piloto P20 HB marca Alfa Laval y del tablero de control que se diseñó para facilitar la operación

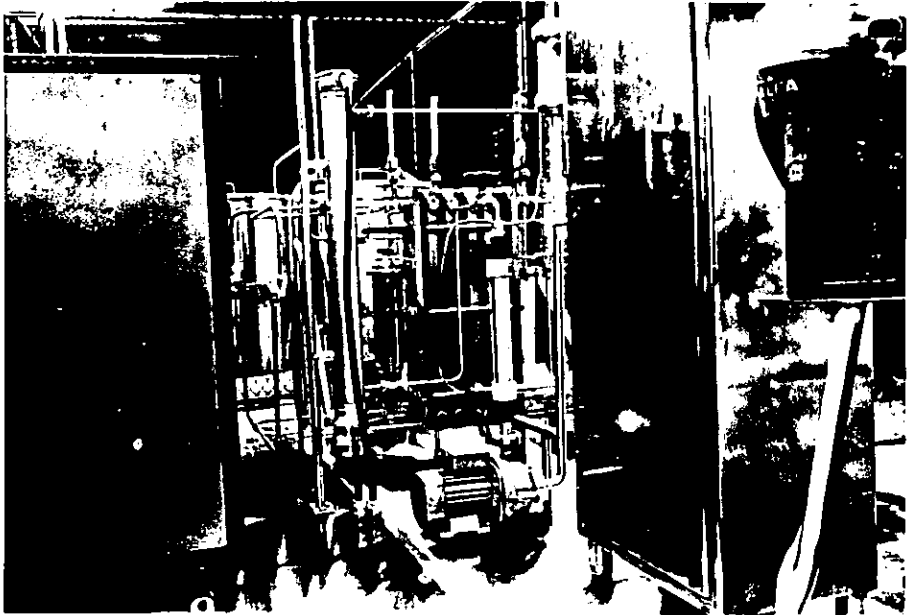
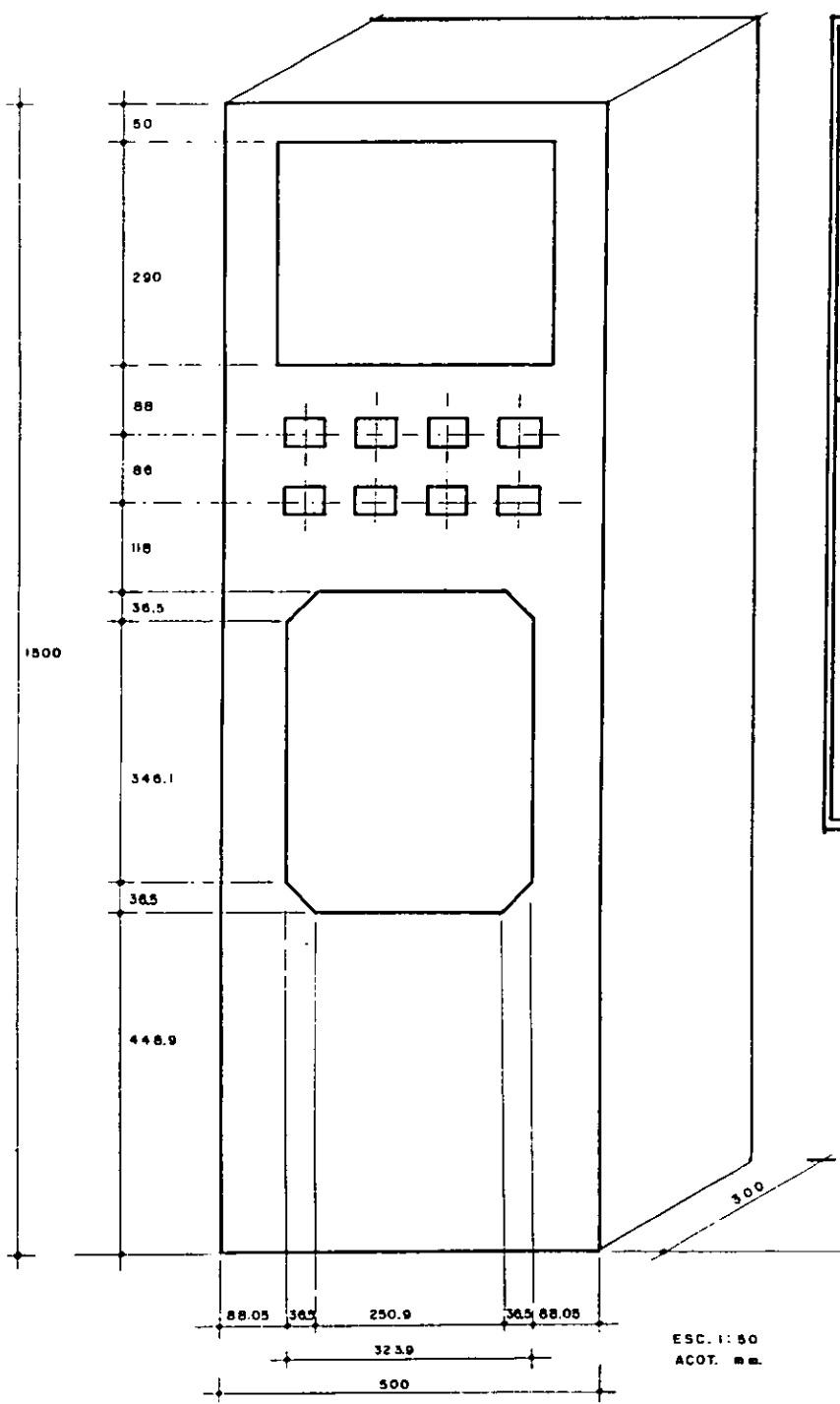


Fig. 4.6 Vista lateral izquierda, se aprecia en el extremo izquierdo parte del enfriador de agua y del lado derecho, parte del tablero de control



Fig. 4.7 Detalle interior del tablero de control



PLANTA PILOTO P20 HB	TESIS
TABLERO DE CONTROL	FAC. DE QUIMICA
1997	LEONARDO GUTIERREZ B.

Fig. 4.8 Isométrico del tablero de control

ESC. 1:50
ACOT. mm.

V. PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE, OPERACIÓN Y LIMPIEZA DE LA PLANTA

5.1 PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DE LA PLANTA PILOTO

Para el arranque de la planta se considera que el equipo está limpio. Para lograr las condiciones requeridas por el proceso para la correcta pasteurización del producto (que en este caso es leche) se utilizará el agua potable, la cual se recirculará en la línea hasta alcanzar una temperatura de 72°C. Durante esta recirculación de agua en el sistema también se consigue la eliminación de aire, ya que éste puede provocar depósitos de producto quemado sobre las placas del intercambiador de calor lo que reduciría la transferencia de calor. Para esto se llevarán a cabo los siguientes puntos:

1°. El tanque de recibo de 50 L se cargará con agua y se abrirá la válvula del mismo para llegar al tanque de balance y todo el sistema. Con la válvula de desvío en posición de desviación al tanque de balance se acciona el motor de la bomba de alimentación de producto al pasteurizador y la válvula de regulación de flujo se tendrá ligeramente castigada al arranque, se irá abriendo lentamente hasta conseguir las condiciones de flujo de proceso (200 L/h). Esto se hace así para proteger al intercambiador de calor de placas de una sobrepresión en dicho momento.

2°. A continuación se arrancará la bomba de recirculación de agua de calentamiento y se conectarán las resistencias eléctricas para que éstas a su vez calienten el agua que va por el circuito de producto. Se mantendrá así hasta conseguir la temperatura de pasteurización de 72°C en la línea de producto, y en el circuito de agua caliente, ésta deberá alcanzar los 75°C en el punto de alimentación.

3°. Ahora se arrancarán ambos "enfriadores" que proporcionarán el agua de preenfriamiento y de enfriamiento final; el primero estará a régimen cuando consiga enfriar el agua de retorno de 27 hasta 21°C y el segundo cuando el agua de retorno de 6.9°C logre enfriarla hasta 1°C y así alimente a la sección de enfriamiento final.

Una vez consiguiendo que la temperatura de alimentación del agua potable sea de 35°C y en la salida de producto pasteurizado sea de 4°C se puede hacer el cambio de agua potable a producto.

5.2 OPERACIÓN DE LA PLANTA

Durante la operación de la planta es de esperarse que las condiciones de temperatura de pasteurización se mantengan, así como la de los servicios de agua caliente, de agua de preenfriamiento y de agua helada. En el evento de una baja en la temperatura de pasteurización, la válvula de desvío se deberá actuar manualmente a posición de retorno a tanque de balance hasta conseguir restablecer la temperatura correcta, con esto se evita que el producto no pasteurizado se mezcle con el producto ya pasteurizado.

El tanque de recibo de leche deberá recibir un bote lechero de 40 L cada 12 minutos y se vaciará lentamente para evitar la formación de espuma y la probable introducción de aire a la línea de proceso. Del tanque de leche pasteurizada se extraerán también cada 12 minutos, 40 litros de leche. La gráfica del registro de temperaturas dejará constancia de que se cumplió la temperatura de pasteurización correcta.

Al terminar el proceso de producción se deberá tener cuidado de no dejar vacío el tanque de recibo de leche y éste se llenará con agua potable para hacer el enjuague por arrastre hasta que el agua salga clara, en este punto el agua se regresará al tanque de balance accionando la válvula de desvío a dicho punto y estando en recirculación se procederá al lavado de la planta según se describe a continuación.

5.3 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE LA PLANTA

Se precisa desconectar el filtro que va después de la válvula de alimentación de producto ya que éste deberá lavarse manualmente. Una vez limpio deberá colocarse otra vez en la línea para protegerla de la introducción de partículas sólidas durante la limpieza in situ.

El flujo de líquidos de limpieza durante el lavado y los enjuagues deberá de ser al menos como el usado durante la operación normal (200 L/h como en producción). El trabajar a un flujo reducido podría causar la formación de bolsas de aire, las cuales impedirían un buen contacto del líquido de limpieza con las placas y una turbulencia baja, no lograría una limpieza correcta ni completa.

Nunca deben excederse las temperaturas de 70°C con ningún detergente, ni usarse soluciones detergentes con concentraciones de sosa y ácido nítrico mayores que 1.5% en peso.

Los detergentes deben suministrarse gradualmente al tanque de recibo para evitarse posibles concentraciones locales elevadas. Los detergentes sólidos, tales como la sosa cáustica, deben disolverse primero en una pequeña cantidad de agua antes de usarse. Se usará agua limpia con una calidad igual al agua potable y libre de sales

Se hará la recirculación de la solución de sosa cáustica de 0.7 – 1.5% en peso a 60°C o máximo 70°C durante 30 minutos o un poco más si es necesario. La sosa cáustica se prepara por dilución de 0.7 kg a 1.5 kg de sosa en 100 L de agua. La cantidad de líquido detergente deberá estar en proporción al volumen del sistema completo incluyendo la tubería y los aparatos adicionales. La línea piloto en cuestión se llena con aproximadamente 12 L excluyendo el tanque de recibo de leche.

Por último, para el enjuague final, se deberá utilizar suficiente agua limpia hasta conseguir un pH neutro.

La limpieza con ácido nítrico, es requerida solo cada quince días para eliminar la llamada "piedra de leche" y otros depósitos que no elimina el detergente alcalino.

Sólo resta verse en el capítulo VI y último las conclusiones del presente trabajo.

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La planta piloto de pasteurización se construyó conforme al diseño planteado y operó correctamente según lo esperado.

Se consiguió efectivamente dotar al centro de enseñanza que solicitó la planta, de una unidad compacta, didáctica, con los consumos de energía mínimos necesarios para operarla.

Esta unidad piloto está actualmente en servicio y el concepto de planta paquete resultó práctico y útil para usarse en otros desarrollos similares y variantes.

Es de hacerse notar que como en toda ejecución de un diseño, al llevarlo a la práctica se requieren algunos ajustes, como una nueva distribución en planta para un mejor acomodo de los componentes y la elevación del registrador de temperatura por encima de la botonera en el tablero de control.

La metodología empleada para integrar los equipos fue correcta ya que se consiguió ensamblar un módulo de pasteurización completo y con funcionamiento autónomo.

El grado de dificultad para desarrollarse y realizarse este proyecto fue razonable.

VII BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. 1990. **Programa P1** para cálculos de intercambiadores de calor de placas. Uso interno de Alfa Laval. Lund, Suecia.

Anónimo. 1987. **Heat Exchanger Guide**. VM 60 122 E4.(8702). Ed. Alfa Laval, Lund, Suecia.

Anónimo. 1986. **CRANE**. Flow of fluids Through Valves, Fittings and Pipe, Technical Paper No.410 (metric). Nueva York, N.Y., Estados Unidos.

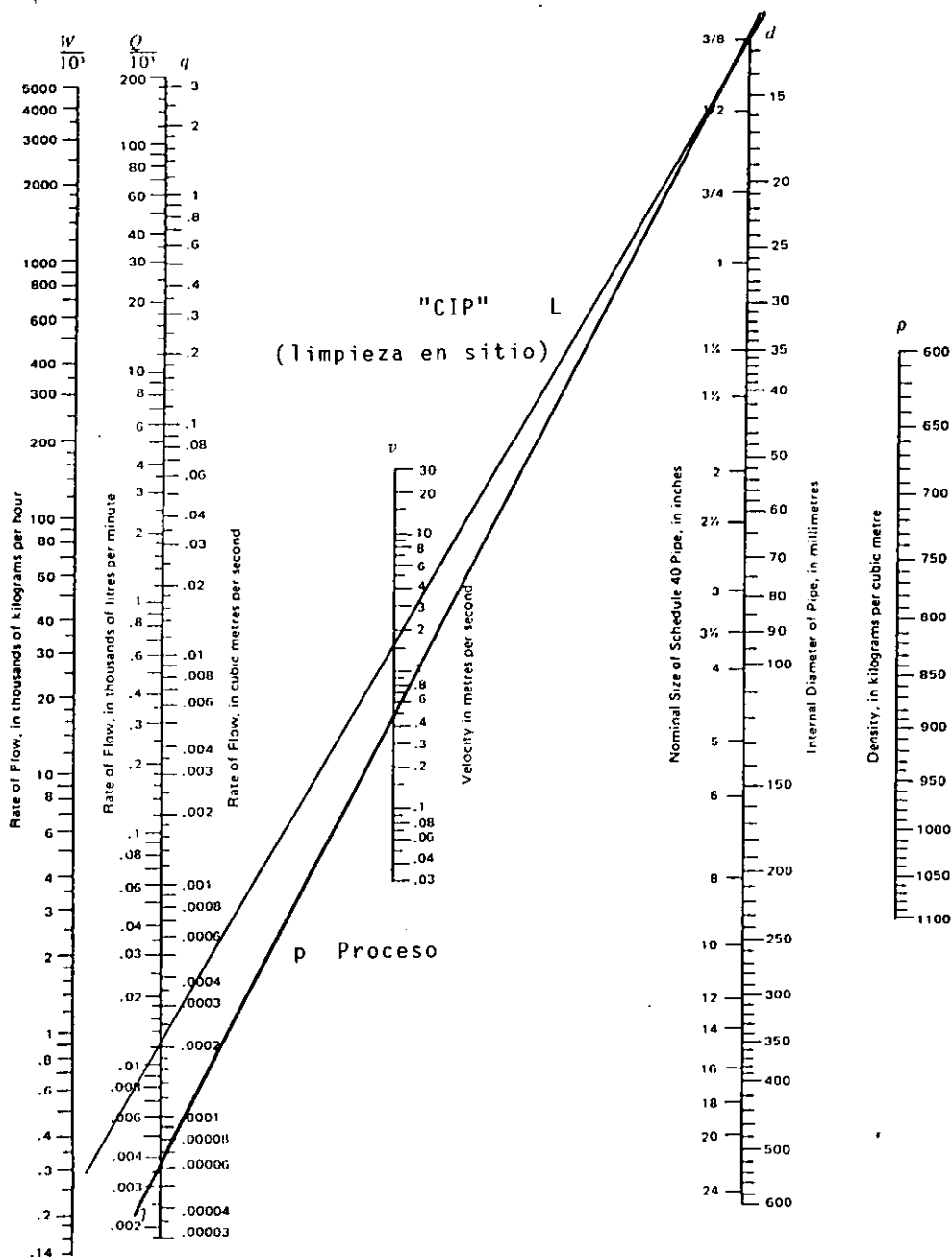
Anónimo. 1980. **Dairy Handbook**. Ed. Alfa Laval. Lund, Suecia.

Brinte, A., Clarén, R., Nesling, M., Nilsson, R., Nygren, J.A., Pehrsson, P.E., Richards, G. y Smisovsky, A. 1992. **Liquid Food Engineering for Projecting Personnel**. Material de apoyo para curso. Ed. Alfa Laval (Escuela de Ingeniería). Octubre 12-16. Alfa Laval Lund, Suecia.

Kern, D. 1971. **Process Heat Transfer**. Ed. Mc Graw-Hill Book Co. Inc. International Student Edition. Kogakusha Company, Ltd. Tokio, Japón.

Apéndice A. Nomograma para la evaluación de la velocidad de un líquido en tubería

Velocity of Liquids in Pipe
 (continued)



Apéndice B. Curva de operación de la bomba tipo GM-1 A (marca Alfa Laval)

ALFA-LAVAL **Stainless steel centrifugal pumps** **type GM**

Application

Centrifugal pumps types GM are specially designed for use in the food industry, where stringent demands are made on hygiene. The components in contact with the liquid are made of materials which can withstand relatively aggressive media. The pump casing and impeller are designed to treat the product as gently as possible.

The design of the pumps is suitable for CIP (Cleaning-In-Place).

Standard design

All wetted parts, i.e. pump casing and shaft are made of 17 Cr/12 Ni/2.7 Mo acid-proof steel. The impeller diameters are 95 mm (3 3/4 in.) for GM-1 and 115 mm (4 1/2 in.) for GM-2. In both cases the impellers are made of glass-fibre-reinforced nylon, suitable for a maximum temperature of 80° C (176° F). The bolts for the pump casing are made of stainless steel and the wing nuts are of plastic.

Shaft seal

The spring loaded, mechanical seal has a stationary seal ring of acid-proof steel and a rotating ring of carbon.

Connections

38 mm (1 1/2 in.) suction and delivery connections with SMS unions of stainless steel.

Motor

Three-phase a. c., 50 Hz, 220/380 V, 3,000 rev/min, direct-coupled, foot-mounted, flanged motor rated at 550 W (0.75 hp).

Optional extras

- a) Fittings according to standards other than SMS
- b) Impeller with reduced diameter
- c) Impeller and nuts of stainless steel (the type designation then changes to GM-1 A and GM-2 A respectively).
- d) Mounting on stainless steel legs
- e) Non-standard voltage and frequency

Shipping data

Net weight	13 kg	(28 lbs)
Gross weight	21 kg	(46 lbs)
Volume	0.024 m ³	(0.85 cu. ft.)

Ordering

Please specify pump type, version, motor rating, optional extras, flow rate, pressure and if possible, the density and viscosity of the liquid to be pumped.

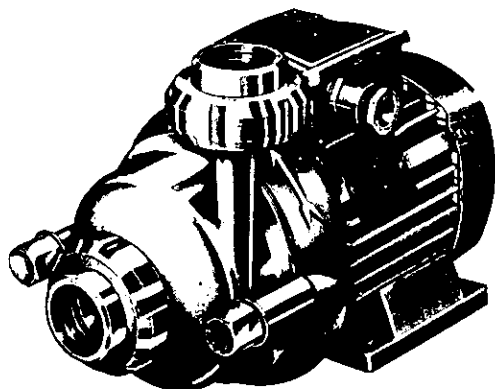


Fig. 1. Centrifugal pump type GM-1A.

Capacity

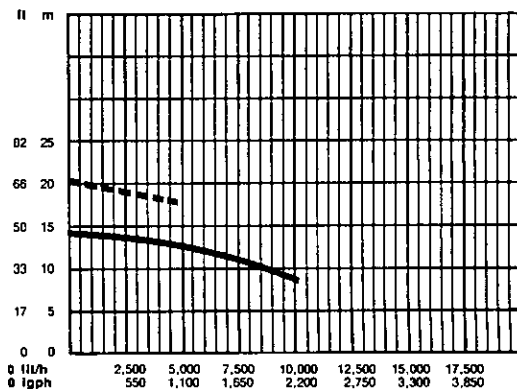


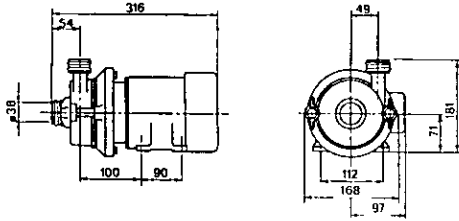
Fig. 2. Capacity chart. The diagram applies to water.

GM-1 ———
 GM-2 - - - - -

Stainless steel centrifugal pumps type GM

Dimensions

Version VI a



Version III b

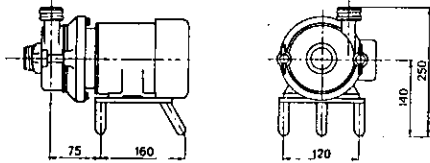


Fig. 3. Dimensioned drawing. All dimensions in mm.

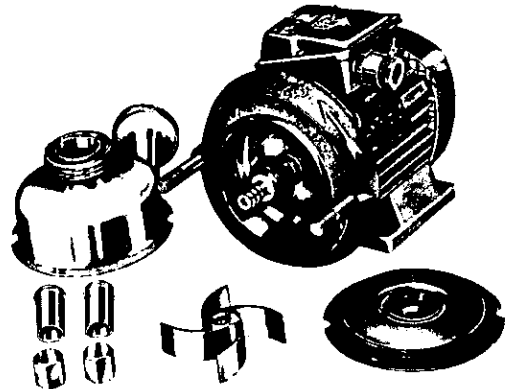
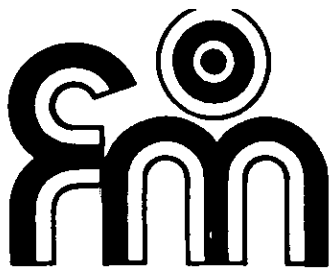


Fig. 4. Pump GM-1A dismantled for inspection.

Apéndice C. Catálogo y datos técnicos de enfriadores de agua (marca Friomold)



Hecho en México por:

friomold, s.a.

LOS ENFRIADORES FRIOMOLD TIPO PAQUETE SE FABRICAN EN DOS VERSIONES:

EQUIPOS NORMALES:

Para aplicarse en un circuito de agua cerrado, enviando el agua a presión al lugar donde se requiere el agua fría y retornando directo al equipo.

Estos equipos tienen un tanque de agua porcelanizado y aislado con el evaporador de tubo de cobre inundado en él, lo que reduce considerablemente los riesgos y problemas por congelamiento.

EQUIPOS TIPO "ES"

Para aplicarse en un circuito abierto de agua, succionando el agua en un depósito (tina) para enfriarlo en el paso por el equipo y retornarlo al depósito. Estos equipos están provistos con un tanque de agua sellado a presión, hecho con lámina de calibre de 3 a 5 mm. espesor, con el evaporador integrado en él.

COMPONENTES PRINCIPALES

COMPRESOR HERMETICO.—De marca mundialmente reconocido, como el más eficiente, silencioso y libre de vibración.

EVAPORADOR.—De tubo de cobre de circuito sencillo, inundado en el agua, evitando así la rotura en caso de formación de hielo.

CONDENSADOR.—De tubo de cobre con aletas de aluminio, con motor eléctrico y ventilador tipo axial.

BOMBA DE AGUA CENTRIFUGA.—De alto rendimiento y calidad.

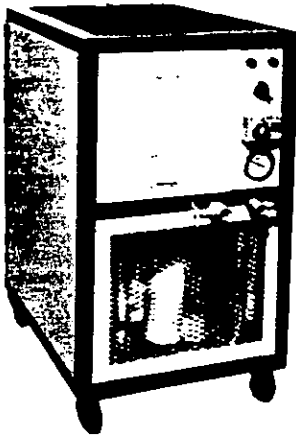
ESTRUCTURA Y GABINETE.—Estructura tubular y gabinete metálico con tapas desmontables.

CONTROL AUTOMATICO.—Todos los equipos están provistos de controles eléctricos (excepto fusibles) para el compresor, motor ventilador y moto-bomba, control de alta y baja presión para el refrigerante, termostato ajustable para el control de la temperatura del agua y termómetro.

CONDICIONES NORMALES DE OPERACION

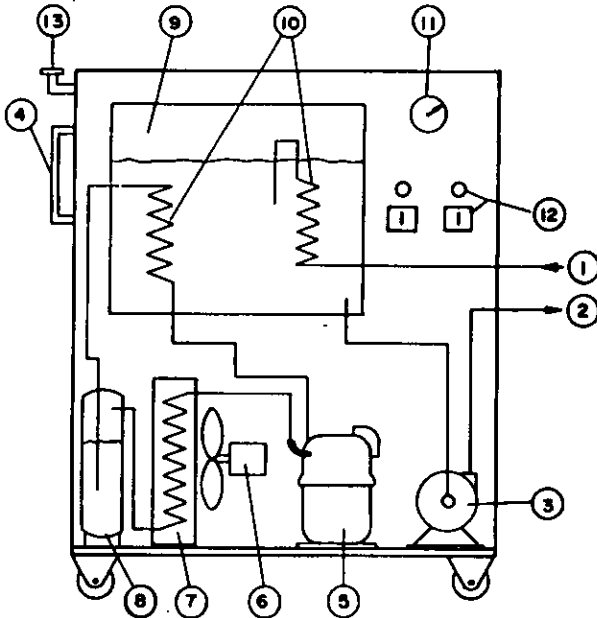
Los equipos se calibran en la fábrica para proporcionar agua entre 7 y 10°C. Para otras temperaturas consulte la fábrica.

EL ENFRIADOR DE AGUA TIPO PAQUETE DE APLICACION INDIVIDUAL PARA LA INDUSTRIA...



- Enfriamiento para la industria alimenticia
- Enfriamiento para otros procesos donde se requiere agua a 15°C o a menor temperatura.
- Enfriamiento para la industria de los laboratorios
- Enfriamiento para la industria de la panificación

FM-2 250-7000



- 1) RETORNO AGUA
- 2) SALIDA AGUA
- 3) MOTOBOMBA
- 4) NIVEL AGUA
- 5) COMPRESOR
- 6) MOTOR Y VENTILADOR
- 7) CONDENSADOR
- 8) RECIBIDOR REFR.
- 9) TANQUE DE AGUA 60 Y/O 125 LITROS
- 10) EVAPORADOR
- 11) TERMOMETRO
- 12) CONTROL ELECTRICO
- 13) CONEXIONES PARA LLENAR

NOTA: En los equipos tipo "ES" se invierten los Nos. 1 y 2.

CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACION

TEMPERATURA AMBIENTE 25°C

TEMPERATURA DE AGUA ENTRE 7 y 10°C

DATOS TECNICOS

MODELO	CAPACIDAD FRIGORIFICO	GASTOS AGUA	CARACTERISTICAS ELECTRICAS				BOMBA	PRESION AGUA	MOTOR VENTILADOR	FUSIBLES
	Kcal/h	Lts/h	H.P *	VOLT	FASE	AMP.	H.P	Kg/cm ²	H.A	AMP
FM- 2 250	2 250	750	1.25	220	1	13	1/4	1.5	(1) 1/4	30
FM- 3 000	3 000	1 000	1.50	220	1	13	1/4	1.5	(1) 1/4	30
FM- 3 750	3 750	1 250	1.75	220	1	15	1/4	1.5	(1) 1/4	30
FM- 4 500	4 500	1 500	2.0	220	1	18	1/4	1.5	(1) 1/4	30
FM- 6 000	6 300	2 000	3.0	220	1	22	1/2	2.0	(1) 1/4	60
FM- 7 000	7 200	2 300	3.25	220	1	24	1/2	2.0	(1) 1/4	60
FM-10 000	9 700	3 200	4.25	220	3	26	3/4	2.0	(2) 1/4	60
FM-12 000	11 850	3 900	6.33	220	3	28	3/4	2.0	(2) 1/4	60
FM-15 000	14 850	4 900	8.00	220	3	30	3/4	2.0	(2) 1/4	60

*H.P. TOTALES

CAMBIOS SIN PREVIO AVISO

DIMENSIONES

MODELO	CONEXIONES AGUA				DIMENSIONES m m.			PESO APROX.
	SALIDA		ENTRADA		LARGO	ANCHO	ALTO	Kg.
	NORMAL	ES	NORMAL	ES				
FM- 2 250	1/2T	—	1/2T	—	750	550	950	80
FM- 3 000	1/2T	—	1/2T	—	750	500	950	110
FM- 3 750	1/2T	—	1/2T	—	750	500	950	120
FM- 4 500	1/2T	1/2T	1/2T	3/4T	750	500	950	130
FM- 6 000	1/2T	1/2T	1/2T	3/4T	750	500	950	142
FM- 7 000	1/2T	1/2T	1/2T	3/4T	750	500	950	154
FM-10 000	3/4T	3/4T	3/4T	1/4T	1 100	750	1 000	280
FM-12 000	3/4T	3/4T	3/4T	1/4T	1 100	750	1 000	290
FM-15 000	3/4T	3/4T	3/4T	1/4T	1 100	750	1 000	300

CAMBIOS SIN PREVIO AVISO

MODELOS TIPO "ES" DISPONIBLES DE 4 500 A 15 000 Kcal/h

CAPACIDADES Y CARACTERISTICAS TECNICAS IDENTICAS A LAS NORMALES

PARA OTRAS TEMPERATURAS DE AMBIENTE FAVOR DE MULTIPLICAR LA CAPACIDAD NOMINAL CON LOS FACTORES DE CORRECCION.

TEMP. AMBIENTE	25°C	30°C	35°C	40°C
FACTOR	1	.91	.83	.78

PARA CAPACIDADES MAYORES O TEMPERATURAS MAS BAJAS CONSULTE LA FABRICA.