



T  
621.1856371  
M 779

Escuela Superior  
Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Mecánica

Sistemas Energéticos para una Planta de  
Procesamiento de Leche

**TESIS DE GRADO**

Previa a la Obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

**Presentada por:**

**Juan José Montesinos Mawyin**

Guayaquil

Ecuador

**- 1986 -**

## A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. Angel Vargas Zúñiga, Director de Tesis, por su ayuda y colaboración en la realización de este trabajo.

A la gentileza del Sr. Carlos Bacigalupo y al personal de planta de la INDULAC, por la colaboración perseverante en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis Padres;

Ing. Gonzalo Montesinos Velástegui

Sra. Elsa Mawyín de Montesinos



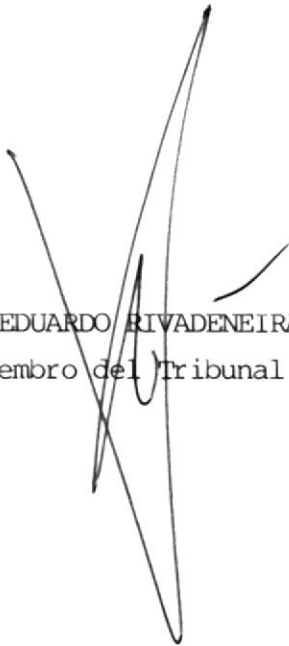
ING. EDUARDO ORCES P.

Decano de la Facultad  
de Ingeniería Mecánica



ING. ANGEL VARGAS Z.

Director de Tesis



ING. EDUARDO RIVADENEIRA P.

Miembro del Tribunal



ING. RAUL LASCANO

Miembro del Tribunal

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas, expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

JUAN JOSE MONTESINOS MAWYIN

## RESUMEN

El objetivo de esta Tesis es el de calcular y seleccionar cada uno de los sistemas necesarios para suministrar vapor a una planta procesadora de leche, que produce 25.000 litros de leche pasteurizada por día, tratando de obtener máxima seguridad y eficiencia de funcionamiento de cada uno de los equipos que componen el circuito de generación, distribución de vapor y recuperación de condensado.

Todos los cálculos se realizarán aplicando métodos actuales con medidas tendientes a la utilización más eficiente de los recursos energéticos, así como: optimización de la combustión, supresión de fugas de vapor, recuperación de condensado y minimización de pérdidas de energía caloríficas en las tuberías.

Por otro lado, en la selección de bomba para el sistema de agua de alimentación se hacen ajustes con el fin de eliminar la cavitación en la succión.

Por último, se estudiará alternativas para el aprovisionamiento, tratamiento y utilización del servicio más importante que requiere la planta que es el agua.

## INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN . . . . .	VI
INDICE GENERAL . . . . .	VII
INDICE DE FIGURAS . . . . .	XII
INDICE DE TABLAS . . . . .	XIII
SIMBOLOGIA . . . . .	XV
INTRODUCCION . . . . .	XVIII

### CAPITULO I

#### CARACTERISTICAS GENERALES DE LA LECHE

1.1 Composición química . . . . .	24
1.2 Propiedades de la leche . . . . .	27
1.3 Efecto del grado de calentamiento y enfriamiento sobre las propiedades en leche . . . . .	33

### CAPITULO II

#### TECNOLOGIA DEL TRATAMIENTO DE LA LECHE

2.1 Recepción . . . . .	40
2.1.1 Depurado . . . . .	41

	PAG.
2.1.2 Enfriamiento . . . . .	45
2.1.3 Almacenamiento previo . . . . .	46
2.2 Higienización . . . . .	47
2.2.1 Desnatado . . . . .	48
2.2.2 Pasteurizado . . . . .	49
2.2.3 Desodorizado . . . . .	59
2.2.4 Homogenizado . . . . .	61
2.2.5 Diagrama de flujo de todo el proceso . . . . .	64

### CAPITULO III

#### SERVICIOS EN LA PLANTA

3.1 Requerimientos . . . . .	65
3.1.1 Agua . . . . .	66
3.1.2 Vapor. . . . .	70
3.1.3 Electricidad . . . . .	73
3.1.4 Aire comprimido . . . . .	76
3.2 Otros requerimientos . . . . .	77

### CAPITULO IV

#### SELECCION DE LA CALDERA

4.1 Tipos de cargas térmicas . . . . .	79
4.2 Balance térmico global. . . . .	83

4.3 Tipos de calderas . . . . .	86
4.4 Selección de la caldera . . . . .	88

CAPITULO V

CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

5.1 Dimensionamiento del tanque de agua de alimentación. . . . .	91
5.2 Cálculo y selección de la bomba de agua de alimentación . . . . .	95
5.3 Cálculo y dimensionamiento de las tuberías de agua de alimentación. . . . .	103
5.4 Esquema . . . . .	107

CAPITULO VI

SELECCION DEL COMBUSTIBLE Y ANALISIS DE LA COMBUSTION

6.1 Características y propiedades del combustible .	108
6.2 Selección del combustible . . . . .	112
6.3 Determinación de la cantidad de aire requerido para la combustión. . . . .	113
6.4 Eficiencia de la combustión . . . . .	119

## CAPITULO VII

## CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE

7.1 Dimensionamiento del tanque del combustible en. base al consumo diario de la caldera . . . . .	123
7.2 Cálculo y selección de la bomba de combustible	128
7.3 Cálculo y dimensionamiento de las tuberías de combustible . . . . .	130
7.4 Esquema . . . . .	133

## CAPITULO VIII

CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS DE DISTRIBUCION  
DE VAPOR Y DE RETORNO DE CONDENSADO

8.1 Condición de diseño de las tuberías de <u>distribución</u> de vapor . . . . .	135
8.2 Cálculo de diámetro de tuberías de vapor y <u>determinación</u> de la caída de presión. . . . .	137
8.3 Condiciones de diseño para el <u>circuito de retorno</u> de condensado. . . . .	143
8.4 Cálculo de diámetro de las tuberías de <u>retorno</u> de condensado y <u>determinación</u> de la caída de presión . . . . .	146
8.5 Selección del <u>aislamiento</u> y <u>determinación</u> de <u>espesores</u> . . . . .	151

CAPITULO IX

SELECCION DE DISPOSITIVOS ANEXOS DE LA INSTALACION  
TERMICA

9.1 Condición de diseño de las trampas de vapor . . .	161
9.2 Tipos de trampas de vapor . . . . .	164
9.3 Selección de trampas de vapor . . . . .	168
9.4 Cálculo y selección de juntas de expansión. . .	170
9.5 Factores de selección e instalación de soportes de las tuberías de vapor. . . . .	175

CAPITULO X

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

10.1 Forma de abastecimiento . . . . .	179
10.2 Tipos de agua . . . . .	183
10.3 Tipos de tratamientos . . . . .	188

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	201
LEYENDA . . . . .	206
BIBLIOGRAFIA . . . . .	207



## INDICE DE FIGURAS

No.		PAG.
1.1	DENSIDAD DE LA LECHE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA .....	27
1.2	CALOR ESPECIFICO DE LA LECHE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA .....	31
2.1	ESQUEMA DEL PASTEURIZADOR HTST' .....	44
2.2.	GRAFICA MOSTRANDO LA RELACION ENTRE LAS VELOCIDADES MEDIA Y MAXIMA EN CONDICIONES DE FLUJO AERODINAMICO Y EN FLUJO TURBULENTO .....	55
2.3	ESQUEMA DE CIRCULACION DEL PASTEURIZADOR HTST..	60
2.4	TANQUE DESODORIZADOR Y DESGASIFICADOR .....	60
2.5	DISPOSITIVO HOMOGENIZADOR .....	63
2.6	FLUJOGRAMA DEL PROCESO EN LA PLANTA LECHERA ...	64
3.1	ESQUEMA DE LA DISTRIBUCION DE VAPOR EN LA PLANTA LECHERA .....	72
5.1	DIMENSIONES DEL TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION.	94
5.2	DETERMINACION DEL NPSHR PARA LA BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA A LA CALDERA .....	99
5.3	ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION ...	107
6.1	DIAGRAMA DE OSWALD PARA EL DIESEL .....	117
7.1	ESQUEMA DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE HACIA LA CALDERA .....	133
8.1	DIAGRAMA PARA DIMENSIONAR TUBERIAS DE VAPOR ...	140

8.2	CAIDAS DE PRESION PARA VAPOR SATURADO A 7 Kg/cm <sup>2</sup> MANOMETRICOS .....	141
8.3	DIAGRAMA PARA DIMENSIONAR TUBERIAS DE RETORNO DE CONDENSADO .....	150
8.4	CAIDAS DE PRESION .....	151
8.5	COSTO TOTAL MINIMO PARA SELECCIONAR ESPESOR ECONO MICO DEL AISLANTE EN TUBERIAS .....	159
8.6	ESQUEMA DEL CIRCUITO DE TUBERIAS DE VAPOR Y CON- DENSADO EN LA PLANTA	160
9.1	BRAZO COLECTOR DE CONDENSADO .....	173
9.2	CONEXIONES EXCENTRICAS EN TUBERIAS .....	173
9.3	JUNTAS DE EXPANSION TIPO FUELLE .....	173
9.4	SOPORTE DE LAS TUBERIAS DE VAPOR Y CONDENSADO ...	173
9.5	EXPANSION TERMICA DE TUBERIAS .....	174
9.6	ESPACIO ENTRE SOPORTES DE TUBERIA HORIZONTAL ....	178
10.1	ESQUEMA DE CONECCION DE ABASTECIMIENTO PROPIO A UNA RED PUBLICA DE AGUA POR MEDIO DE UN DEPOSITO ELEVADO .....	182
10.2	PRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA BUJIA FILTRANTE..	199

## INDICE DE TABLAS

No.		PAG.
1.1	INGRESO DE LECHE CRUDA A LAS PLANTAS PROCESADORAS EN EL ECUADOR SEGUN SU UBICACION EN PROVINCIAS ..	23
1.2	PROPIEDADES TERMICAS DE LA LECHE A 20°C .....	32
1.3	MEDIA DE LOS MINIMOS CUADRADOS Y DESVIACION EN MUESTRAS CONGELADAS DE MUESTRAS FRESCAS PARA ALGU- NAS PROPIEDADES DE LA LECHE .....	34
1.4	DESARROLLO MICROBIANO EN LA LECHE PASTEURIZADA ..	38
1.5	ESPECIFICACIONES DE LA LECHE ENRIQUECIDA .....	26
3.1	CONSUMO DE AGUA DE LOS CONDENSADORES .....	67
3.2	CONSUMO MEDIO DE AGUA (I).....	69
3.3	CONSUMO MEDIO DE AGUA (II) .....	70
3.4	CONSUMO MEDIO DE VAPOR .....	72
3.5	NECESIDADES DE ELECTRICIDAD EN LA PLANTA LECHERA.	75
3.6	NECESIDADES DE VENTILACION .....	77
4.1	ALGUNOS VALORES DEL CONTENIDO DE VAPOR SATURADO BAJO CONDICIONES ESTABLECIDAS EN LA PRACTICAS PA- RA LECHERIAS .....	81
4.2	CONSUMOS DE COMBUSTIBLES EN CALDERAS .....	90
5.1	DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE AGUA DE ALIMENTA- CION DADO POR CLEAVER BROOKS .....	94
5.2	TABLAS DE FRICCION EN TUBERIAS DE ACERO TIPO SCHEDULE 40 .....	106

	PAG.	
6.1	PROPIEDADES DEL DIESEL Y DEL FUEL OIL USADOS EN EL ECUADOR ..... 111	111
6.2	ASPECTO DE LA LLAMA EN EL HOGAR Y DE LOS GASES DE LA CHIMENEA COMO INDICATIVOS DE LA PROPOR- CION DEL EXCESO DE AIRE ..... 118	118
6.3	TABLA DE EFICIENCIA DE COMBUSTION ..... 122	122
7.1	CAPACIDAD MINIMA DE ALMACENAMIENTO DIARIO DE COM- BUSTIBLE CON RESPECTO A LOS CABALLOS CALDERAS. 126	126
7.2	ESPECIFICACIONES TECNICAS Y DIMENSIONES DE TAN- QUES DE COMBUSTIBLE LIQUIDO ..... 127	127
8.1	RESULTADO FINAL DE LA CAIDA DE PRESION EN LA TU- BERIA DE CONDENSADO ..... 155	155
8.2	ESPEORES RECOMENDADOS DE AISLAMIENTO PARA TUBE- RIAS ..... 158	158
9.1	SELECCION DE TRAMPAS DE VAPOR ..... 169	169
10.1	CALIDAD DEL AGUA DE ALIMENTACION DE LA CALDERA 186	186
10.2	GRADOS DE DUREZA Y DENOMINACION DEL AGUA ..... 192	192
10.3	APLICACIONES DE LA CUMASINA ..... 198	198

## S I M B O L O G I A

Es	Extracto seco de la leche
Cg	Contenido graso de la leche
U.I.	Unidad Internacionales
C.C.	Caballos Calderas
Qn	Cantidad de calor necesario
Cp	Calor específico a presión constante
Qtr	Cantidad de calor transmitido
Wbo	Libras de vapor producido por la caldera
$h_1$	Entalpía del agua que llega a la caldera
$h_2$	Entalpía del vapor producido por la caldera
$P_1$	Presión de succión en la bomba
Pv	Presión de vapor
$P_2$	Presión máxima del colector de la caldera
Rm	Reserva mínima de agua
Ct	Capacidad total del tanque de agua de alimentación
Sp.gr.	Peso específico
$Z_1$	Altura de Succión
Hfs	Pérdida por fricción en la succión
Hi	Pérdida por fricción a la entrada
NPSHA	Carga neta de succión positiva admisible
NPSHR	Carga neta de succión positiva requerida
Z	Suma algebraica de la carga estática
Hts	Pérdidas totales de succión
Htd	Pérdidas totales de descarga

TDH	Altura total dinámica de descarga
BHP	Potencia al eje
Q	Capacidad de bombeo
HP	Caballos de fuerza
V	Velocidad del fluido
Qt	Caudal de la tubería
L	Longitud de tubería
Re	Número REYNOLD
Pe	Presión al comienzo del tramo de tubería
Ps	Presión al final del tramo de tubería
Vp	Velocidad permisible
Ptc	Presión en la tubería de condensado
K	Resistencia a la transmisión de calor
T	Temperatura
Tmg	Temperatura mínima de los gases de escape
HTST	Temperatura alta - tiempo corto
Qn	Cantidad de calor necesario
Qtr	Cantidad de calor transmitido
GPH	Galones por hora
GPM	Galones por minuto
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
m	Masa
$\dot{m}$	Flujo másico

v	Volumen
c	Calor específico
eff	Eficiencia
e	Factor de rugosidad
hl	Pérdida por fricción en tubería
p.p.m.	Partes por millón
t	Toneladas
$t_1$	Tiempo real
$t_2$	Tiempo medio teórico
cP	Centipoise
mm	milímetro
cm	centímetro
m	metro
h	hora
s	segundo
lbm	libra masa
lb-mol	libra mol

Letras Griegas

$\rho$	Densidad
$\rho_l$	Densidad de la leche
$\phi$	Diámetro de la tubería
$\nu$	Viscosidad cinemática
$\Delta P$	Diferencial de presión
$\Delta T$	Diferencial de temperatura
$\alpha$	Eficiencia de retención

## INTRODUCCION

PROPOSITO.- La decisión de establecer una planta pasteurizada de leche, se deriva de una política social de un amplio alcance, puesto que el aumento del suministro de alimentos de elevado valor nutritivo como la leche, representa un factor importante, ya que viene constituyendo uno de los puntales básicos de la economía nacional y ha contribuído a resolver problemas nutricionales.

Cuando se trate de crear una planta pasteurizadora de leche, debe tenerse la oportunidad de poder beneficiarse de ciertos adelantos como el conocimiento, la pericia técnica y el equipo necesario para la elaboración de productos lácteos, llegando así a crear la estructura necesaria en un tiempo mucho mas corto y con menos errores.

Las ventajas que una planta pasteurizadora de leche normalizada puede ofrecer en términos de tiempo, costo y eficiencia, se considera suficiente como para enfatizar y conducir el estudio. Con ello, las técnicas esenciales de tratamiento de la leche se adquirirán con mayor rapidez, utilizando para ello métodos y equipos normalizados, que con ésta experiencia pueden constituir el punto de partida, para emprender operaciones en mayor escala o para repetir las actividades en otro lugar, tratando así de cubrir una de las múltiples necesidades de la población.

En la actualidad la calidad del producto es de primordial importancia, debido a que el consumidor exige la uniformidad de ciertas características del producto, tales como el sabor y la duración del alimento almacenado, así como las más estrictas normas de higiene.

Sabido es que la calidad de los productos lácteos depende sobre todo de la bondad de la leche cruda pero es indispensable que se aplique tratamientos eficientes, para lo cual se necesita fundamentalmente fuentes de calor y de frío y es aquí que la razón primordial de la tesis es seleccionar el tratamiento óptimo para la elaboración de la leche cruda, además de conocer y establecer las necesidades térmicas de la planta lechera, complementándose con el cálculo y selección de los diferentes sistemas que comprende el circuito producción, distribución y recuperación de vapor, así también el estudio de los servicios auxiliares que requiere la planta lechera y la posible fuente de abastecimiento del servicio principal, que los constituye el agua.

FACTIBILIDAD.- Son muchas las consideraciones que influyen en el dimensionamiento de una planta pasteurizadora de leche así como en la diversidad de las operaciones que hay que tener en cuenta en el proyecto de este tipo de planta, para la cual el estudio se basará en la elaboración de la leche líquida.

Es necesario conocer la realidad de las industrias lácteas calificadas en nuestro país. De acuerdo al boletín "Situación de las Industrias Lácteas en el Ecuador" publicado por el Ministerio de Agricul-

tura y Ganadería en el año 1980 - 1981 (tabla No. 1.1), en la provincia del Guayas hay un ingreso de leche cruda de 13.673.755 litros/año, siendo la planta INDULAC la de mayor ingreso, pues sus cifras reportan 10.579.842 litros/año es decir que procesa 28.986 litros/días. Para nuestro estudio podemos ajustar ésta cifra para diseñar una planta pasteurizadora de leche que produce 25.000 litros/días.

Esto es necesario para poder seleccionar la capacidad de los equipos, calcular las necesidades de servicios y diseñar la disposición general de la planta lechera, procurando además, que tanto el diseño de la planta como su funcionamiento eficiente se ajusten a las mas elevadas normas de higiene.

EJECUCION DEL PROYECTO.- La ejecución de éste proyecto podrá iniciarse cuando los resultados del estudio de prefactibilidad sean favorables y cuando pueda preverse que se dispondrá de los medios económicos necesarios.

Por experiencia recogida se necesitará probablemente hasta un período de 2 años para poner en marcha la producción de la leche y comenzar su recogida; éstas actividades deberán realizarse de forma que en el momento en que la planta esté lista para funcionar, se haya asegurado un suministro aproximadamente igual a la mitad de la capacidad diaria del tratamiento que se estudiará. Será justificado so-

lamente en la etapa inicial que la leche fresca pueda complementarse mediante la reconstitución\*.

Durante el período de lanzamiento deberán establecerse los centros de recogida y organizarse el sistema de recogida; ésto implica la adquisición de vehículos, de bidones, de material de refrigeración y otros elementos.

La selección del sitio donde deba construirse la planta deberá decidirse teniendo en cuenta, que los costos de distribución de los productos son mas elevados que el costo de la recogida de la leche, además como la leche pasteurizada es un producto que no puede conservarse por mucho tiempo, resulta más económico situar la planta lechera cerca de la zona de consumo. La zona deberá estar ubicada en un terreno razonablemente plano, cerca de una buena carretera principal y en dirección contraria al viento respecto a cualquier instalación que produzca polvo o humo. Deberá tenerse presente las facilidades de obtención de los servicios públicos, tales como: agua, electricidad y evacuación de aguas residuales.

La última fase del proyecto serán los edificios, para lo cual se proporcionará al Arquitecto el plan general de la disposición de la planta y todas las indicaciones relativas a las exigencias especiales que requiera el proveedor del equipo, con respecto a los mate-

---

\* La reconstitución es el procedimiento que se emplea para producir leche líquida de una composición determinada, tomando como base los elementos constituyentes del producto natural.

riales o a la construcción. Debe subrayarse que se desperdiciará tiempo y trabajo si el proyecto del edificio se comienza cuando la preparación del plan de la planta y las especificaciones relativas al equipo necesario no hayan alcanzado una fase avanzada.

La instalación de una planta pasteurizadora de leche, en efecto, puede constituir una ventaja social, en la medida de que proporcionará empleos. Sin embargo, se deberá tomar precauciones para evitar que se contrate demasiado personal, ya que éste hecho impedirá que se establezca una organización eficaz y planteará problemas de control, además de aumentar inútilmente los costos de mano de obra.

Finalmente, deberá tenerse constantemente un estudio a través de todos los procesos de planificación de viabilidad económica de los proyectos, y que deberá modificarse las decisiones cuando las condiciones indiquen que ello es necesario. Como éstos detalles no forman parte del temario de ésta tesis, simplemente nos remitimos a emitir las recomendaciones arriba indicadas.



TABLA No. 1.1 INGRESO DE LECHE CRUDA A LAS PLANTAS PROCESADORAS SEGUN SU UBICACION EN PROVINCIAS

No.	PROVINCIAS	UBICACION	LITROS POR AÑO	
			1980	1981
1	CARCHI	Tulcán San Gabriel El Angel	14.731.741	18.712.299
2	IMBABURA	Ibarra San pablo de Lago Angochahua	3.694.911	3.361.650
3	PICHINCHA	Quito Cayambe Tabacundo San José de Minas Malchinguí Tulipe Alausí	58.959.190	60.744.298
4	COTOPAXI	Lasso Mulaló Salcedo	51.802.406	53.773.994
5	TUNGURAHUA	Pelileo Patate	10.320.745	11.520.802
6	CHIMBORAZO	Riobamba San Juan Chunchi	7.935.706	7.452.516
7	BOLIVAR		57.200	58.000
8	CAÑAR	Biblián	696.900	714.410
9	AZUAY	Cuenca	3.412.740	4.864.197
10	LQJA	Loja	425.760	933.580
11	GUAYAS	Guayaquil	12.971.062	13.673.755
TOTAL			165.008.361	175.809.501

## C A P I T U L O I

### CARACTERISTICAS GENERALES DE LA LECHE

#### 1.1 COMPOSICION QUIMICA DE LA LECHE

Es de primordial interés conocer los constituyentes de la leche, ya que este producto es un alimento de primera necesidad y para determinar su valor como tal es conveniente conocer la clase y cantidad de nutriente que posee.

La leche recién ordeñada varía en su composición química debido a muchas causas, es por esto que generalmente se define a la leche como: "Secreción láctea, prácticamente libre de calostro\*, obtenida por ordeño completo de una o mas vacas en buen estado de salud, dicha secreción láctea no debe tener menos de 3.25% de grasa de leche y no menos de 8.25% de sólidos no grasos de leche".

Las razones para fijar el mínimo de grasa y de sólidos no grasos es que, el valor nutricional de la leche depende de la combinación de ambos constituyentes mencionados.

---

\*Se llama calostro a la primera leche que da la hembra después del parto.

La composición media de la leche normal de vaca es la siguiente:

.- Agua 87.5%

.- Extracto seco 12.5%	{	Grasa 3.5%	{	Proteínas 3.5%
		Extracto seco		Lactosa 4.7%
		desengrasado		Sales Minerales 0.8%
		9.0%		

La leche contiene además enzimas (fermentos), vitaminas y ácidos libres.

La composición de la leche varía dependiendo de ciertos factores tales como: tipo de ganado vacuno, estado nutricional, estaciones del año, temperaturas ambientales, edad, estado de lactancia, infección de la ubre y enfermedades en general.

La leche puede calificarse como el alimento más valioso para la nutrición del hombre. Contiene todos los principios nutritivos necesarios para la conservación y el desarrollo de la vida.

La leche enriquecida, de acuerdo con las normas ecuatorianas correspondientes, debe cumplir con las especificaciones establecidas en la Tabla (1.5).

TABLA No. 1.5 Especificaciones de la leche enriquecida\*

REQUISITOS	Und.	Min.	Max.
Densidad relativa a 15°C	%	1.028	1.032
Contenido de grasa	%	3.00	-
Acidez titulable	%	0.14	0.18
Sólidos totales	%	10.9	11.9
Cenizas	%	0.65	0.80
Proteínas	%	3.00	-
Vitamina A	UI	2000	-
Vitamina D	UI	400	-

Ref (3)

\*Normalmente se obtiene por adición de vitaminas, minerales y/o sustancias protéicas a la leche.

El hombre puede satisfacer, aproximadamente, el 20% de sus necesidades diarias de energía con un litro de leche, es decir basta un litro de leche por día para cubrir las necesidades del hombre.

## 1.2

### PROPIEDADES DE LA LECHE

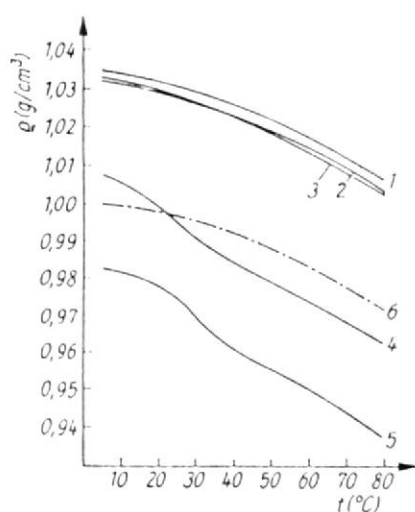
#### 1.2.1 Propiedades Físicas

La leche es un sistema polidisperso, ésto es, sus distintos componentes forman partículas de tamaño diverso, en diferentes grados de dispersión y formas de solución.

DENSIDAD.- La densidad se define así.

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \rho = \text{densidad en } \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

La densidad de la leche oscila entre  $1,027 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$  y  $1,035 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$ . La densidad depende de la temperatura, generalmente es tomada a  $20^{\circ}\text{C}$  y 760 Torr o corregida a ésta temperatura. En la Fig. (1.1) tenemos la densidad de la leche en función de la temperatura.



- (1) Leche desnatada.
- (2) Leche completa con el 2,5% de materia grasa.
- (3) Leche cruda con el 4,5% de materia grasa.
- (4) Nata con el 30% de grasa.
- (5) Nata con el 48% de grasa.
- (6) Agua destilada.

FIGURA 1.1

La densidad disminuye al aumentar el contenido graso, pero aumenta cuando se eleva la proporción de proteína, lactosa y sustancias minerales. Con la densidad determinamos el peso de la leche. Conociendo la densidad y el contenido graso se puede calcular el extracto seco de la leche por la fórmula de Fleischmann y Roeder.

$$Es = 1,311 Cg + 2,738 \frac{100 (le - 1)}{le}$$

Es = Extracto seco de la leche en %

Cg = Contenido graso de la leche en %

le = Densidad a 20°C en  $\frac{g}{ml}$

PUNTO DE EBULLICION.- El punto de ebullición de la leche es más alto que el del agua destilada (100.2°C) a nivel del mar.

PUNTO DE CONGELACION.- La leche se congela a - 0,55°C siendo sus variaciones de (-0,55 a -0,61°C). La leche se altera en gran parte al congelarse. Como lo primero que se congela es el agua, en la parte de la leche todavía sin congelar aumenta la concentración de los componentes del extracto seco. Después de la descongelación no es posible lograr que la grasa vuelva a dispersarse con la misma perfección que lo estaba al principio.

De ahí que los resultados analíticos obtenidos con la leche congelada no se correspondan con la composición real del producto fresco.

VISCOSIDAD DINAMICA.- La viscosidad depende de la resistencia de rozamiento entre las moléculas. Disminuye al aumentar la tempera-

tura. Es así que debido al rozamiento de la grasa emulsionada y de las proteínas suspendidas, la viscosidad de la leche viene a ser el doble que la del agua, oscila entre 1,5 y 4.2 cP, la del agua es igual a 1.0 cP (cP = Centipoise).

### 1.2.2 Propiedades Químicas.-

La leche fresca o recién ordeñada, se comporta como un compuesto anfotérico, esto quiere decir que actúa a la vez como ácido y como base.

Reacción química de la leche.- La reacción química de la leche tiene una gran importancia en la tecnología lactológica, así, todos los fenómenos microbiológicos, la precipitación de las proteínas y el resultado de la pasteurización dependen de la reacción química. Todo esto puede expresarse en términos de neutralidad, acidez y alcalinidad.

INDICE SH.- el índice de Soxhlet-Henkel sirve para expresar la reacción ácida. El índice SH de la leche recién ordeñada de vaca sana es de 6.7 a 7.0

Durante el transporte y ya en la planta lechera éste índice sufre un aumento debido a la producción de ácido láctico por parte de las bacterias acidolácticas.

VALOR PH.- Este método es más exacto y real que el anterior, es por esto que la acidez hallada se denomina "actual". El valor PH de la leche recién ordeñada de vaca sana es de 6.5 a 6.45.

### 1.2.3 Propiedades Térmicas

Con el avance de la tecnología en la industria lechera se han logrado conocer ciertas propiedades térmicas tales como: calor específico, conductividad térmica, y difusividad térmica.

CALOR ESPECIFICO (c).- Es la cantidad de calor necesario para elevar en un grado ( $^{\circ}\text{C}$ ) la temperatura de un Kg. de una sustancia. Está expresado en (Kcal/Kg.  $^{\circ}\text{C}$ ).

Para el agua,  $c=1$ , para las demás sustancias  $c < 1$ . El calor específico varía considerablemente a diferente temperatura varía de 0,92 a 0.95 entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $66.5^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$  y  $152^{\circ}\text{F}$ ); el máximo valor es cerca de los  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ), Fig (1.2). En la tabla No. 1.2 tenemos el valor de  $\underline{c}$  para algunos productos lecheros.

El valor de  $\underline{c}$  lo necesitamos entre otras cosas, para calcular la cantidad de calor que requiere la pasteurización de la leche.

CONDUCTIVIDAD TERMICA.- Es la medida de la cantidad de calor, el cuál puede pasar a través de un material en una unidad de área por la unidad de tiempo por cada grado de temperatura por unidad de espesor.

DIFUSIVIDAD TERMICA.- Es una medida que nos indica cuan rápidamente pasa el calor a través de la sustancia o material.

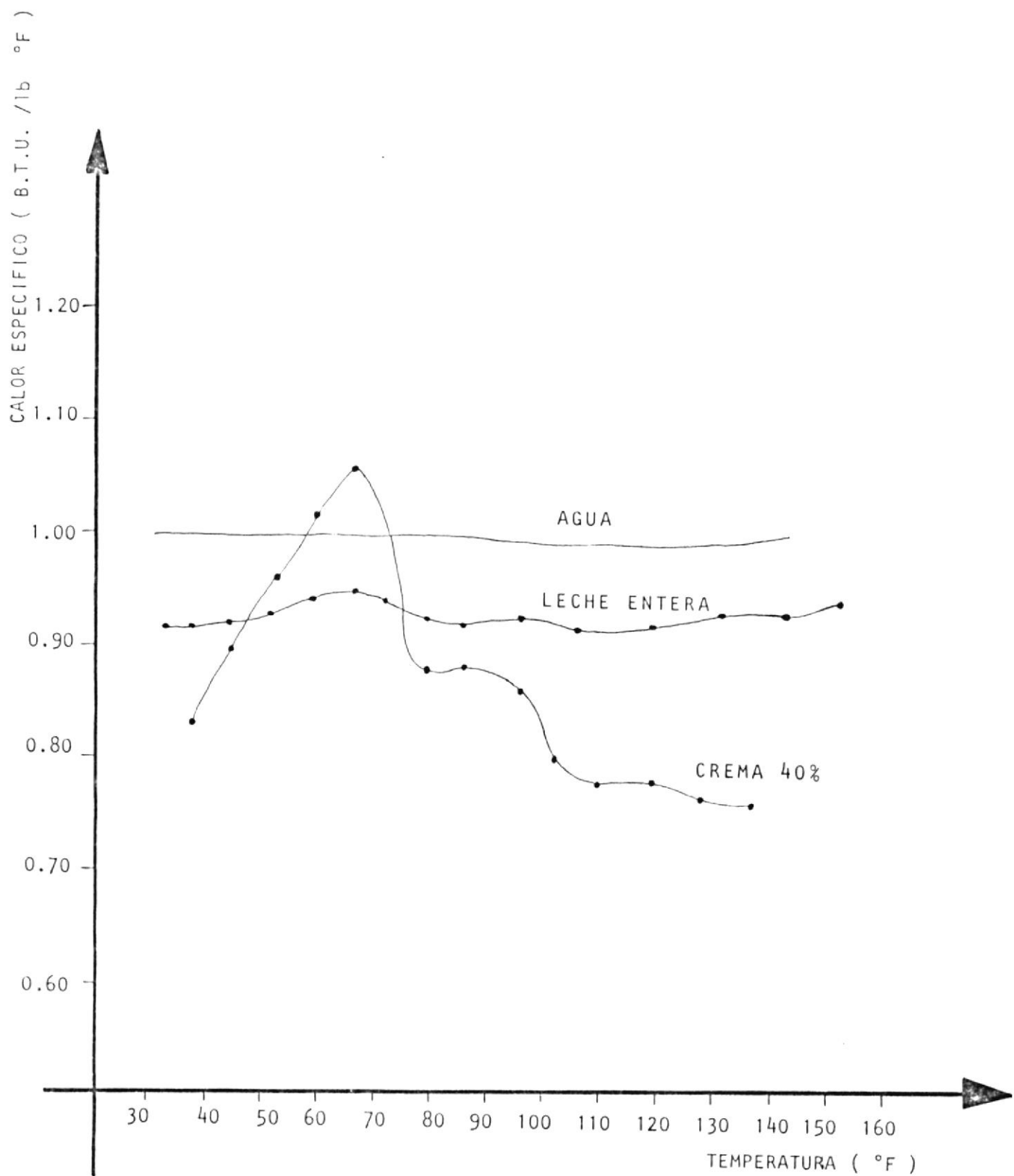


FIGURA 1.2 CALOR ESPECIFICO DE LA LECHE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

TABLA No. 1.2 PROPIEDADES TERMICAS DE LA LECHE

a 20 °C

	Calor específico	Conductividad térmica	Difusividad Térmica
	$\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{Kcal} \times \text{m}}{\text{seg} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$
Leche completa	0.94	$13.22 \times 10^{-5}$	$4.5 \times 10^{-4}$
Leche desnatada	0.95	$13.72 \times 10^{-5}$	$3.5 \times 10^{-4}$

Ref (22)

### 1.3 EFECTO DEL GRADO DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA LECHE

En una prueba una muestra fué dividida en 5 porciones denominada: a, b, c, d, e.

La muestra "a" fué analizada fresca el mismo día.

La muestra "b" fué lentamente enfriada y luego almacenada a  $-25^{\circ}\text{C}$ , después de un cierto tiempo se puso en un refrigerador doméstico durante 24 horas y lentamente aumentó la temperatura hasta aproximadamente  $4^{\circ}\text{C}$ , finalmente con un baño de agua se elevó hasta  $30^{\circ}\text{C}$ .

La muestra "c" fué lentamente enfriada y luego almacenada a  $-25^{\circ}\text{C}$ , después en un cierto tiempo se elevó la temperatura rápidamente en un baño de agua a  $30^{\circ}\text{C}$ .

La muestra "d" fue enfriada rápidamente en nitrógeno líquido a  $-196^{\circ}\text{C}$  en aproximadamente 4 minutos y se almacenó a una temperatura de  $-25^{\circ}\text{C}$ , y en unos días se practicó el aumento de la temperatura con el refrigerador doméstico durante 24 horas hasta  $4^{\circ}\text{C}$ .

La muestra "e" fue enfriada rápidamente en nitrógeno líquido a  $-196^{\circ}\text{C}$  en 4 minutos y luego se almacenó a  $-25^{\circ}\text{C}$  y en unos días se cogió ésta muestra y se elevó la temperatura rápidamente en baño de agua hasta  $30^{\circ}\text{C}$ .

Todas las muestras excepto la "a" después del enfriamiento fueron almacenadas a  $-25^{\circ}\text{C}$ , después de algunos días se practicó el aumen-

to de temperatura ya sea rápidamente o lentamente según el caso y habiendo sido analizadas posteriormente.

La grasa de la leche fué estimado por dos métodos: Babcock y de Mojonnier. Los resultados de todas las muestras son tabulados en la tabla (1.3)\*

Muestra	TRATAMIENTO	GRASA BABCOCK	GRASA MOJONNIER (%)	PROTEINAS (%)	SOLIDOS TOTALES (%)
a	FRESCA	4.81	4.79	2.89	13.44
b	EL-ALT	4.70 - 0.11	4.73 - 0.06	2.89 0.00	13.25 - 0.19
c	EL-ART	4.74 - 0.07	4.71 - 0.08	2.89 0.00	13.24 - 0.20
d	ER-ALT	4.79 - 0.02	4.73 - 0.06	2.88 - 0.01	13.24 - 0.20
e	ER-ART	4.77 - 0.04	4.73 - 0.06	2.89 0.00	13.22 - 0.22

TABLA No. 1.3 Media de los mínimos cuadrados y desviación en muestras congeladas de muestras frescas para algunas propiedades de la leche. Ref (16)

\* Estos datos fueron obtenidos con leche fluida recién ordeñada en Francia que existe las 4 estaciones del año.

ER = Enfriamiento rápido  
EL = Enfriamiento lento  
ART = Aumento rápido de temperatura  
ALT = Aumento lento de temperatura

Los resultados fueron los siguientes:

- a) El grado del aumento de temperatura, no afectaron ninguna de las medidas de los constituyentes de la leche.
  - b) La grasa de la leche y los sólidos totales, variaron por enfriamiento y aumento de temperatura con respecto a la leche fresca.
  - c) La grasa estimada por el método Babcock, fué 0.06% mas elevada en enfriamiento rápido que en enfriamiento lento de la leche, ésta diferencia fué significativa.
- Sin embargo, por el método Mojonnier se produjo solo una ligera diferencia.
- d) La diferencia debido al grado de enfriamiento y aumento de temperatura fueron pequeñas y no significativas para proteínas.

#### PROPIEDADES VARIAS:

1.3.1 CALENTAMIENTO DE LA LECHE.- La acción del calor está en función de la temperatura alcanzada y de la duración del calentamiento.

- a) Acción sobre la lactosa.- El calentamiento a elevadas temperaturas altera la leche favoreciendo la formación de complejos de un color mas o menos obscuro, entre los grupos amino-libres de las pro-

teínas y de la lactosa.

Cuando la temperatura de calentamiento sobrepasa los  $80^{\circ}\text{C}$  presentan complejos coloreados provocando el oscurecimiento de la leche, acompañado de un aumento de acidéz y el desarrollo de un gusto a cocido o quemado. Esta reacción es débil cuando la leche se calienta a muy altas temperaturas durante un tiempo muy corto.

b) Acción sobre las sales minerales.- El equilibrio mineral de la leche se modifica rápidamente no solo por la acción directa del calor sobre las sales, sino también por la pérdida de  $\text{CO}_2$ .

c) Acción sobre las vitaminas.- El calor por sí mismo no destruye las vitaminas cuando se mantiene en los límites de temperaturas que caracterizan los métodos actuales. El oxígeno es el principal responsable de la destrucción de las vitaminas. El calentamiento al aire libre a una temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  provoca la casi total desaparición de las vitaminas A,  $\text{B}_1$ ,  $\text{B}_{12}$ , C. En tanto que el calentamiento a alta temperatura sin contacto con el aire conserva íntegramente las vitaminas.

Algunos metales, como el cobre, favorecen la destrucción por el calor, de la vitamina C. El acero inoxidable es inerte.

d) Acción sobre la flora microbiana.- Por encima de  $60^{\circ}\text{C}$  desaparecen la mayoría de los gérmenes comunes de la leche, si ésta temperatura se mantiene durante algunos minutos. Algunas bacterias como los micrococos, los estreptococos, la corinebacteria y algunos bacilos pueden resistir éste tratamiento térmico.

La flora termoresistente de la leche está constituida fundamentalmente por gérmenes procedentes por lo general de material mal desinfectado.

Respecto a la flora microbiana patógena tal como la Coxiella Burneti, agente de la fiebre, puede desempeñar un papel activo en la propagación de enfermedades humanas, sin embargo, ésta es destruida por el calentamiento a  $72^{\circ}\text{C}$  en 12 segundos, y con éste tratamiento se eliminan los virus.

Además, la eliminación de las toxinas bacterianas termoresistentes sólo puede conseguirse mediante la observación de medidas higiénicas rigurosas en el momento de la recogida.

1.3.2. REFRIGERACION DE LA LECHE.- La refrigeración de la leche debe realizarse con rapidez e inmediatamente después de la pasteurización. Se justifica debido a que:



- a) La refrigeración frena el desarrollo de los gérmenes que resisten la pasteurización, como indica la tabla (1.4)
- b) Impide en gran parte las repercusiones de una eventual contaminación posterior de la leche pasteurizada.
- c) Una acción mas prolongada de las temperaturas de pasteurización perjudicaría la composición y propiedades de la leche.

En: Gérmenes ml	Inmediatamente después de la pasteurización	a las 5 horas	a las 9 horas	a las 23 horas
Leche sin refrigerar	40.000	378.000	5.150.000	375.000.000
Leche refrigerada	40.000	43.000	51.000	1.000.000

TABLA No. (1.4) Desarrollo microbiano en la leche pasteurizada en  
gérmenes/ml Ref (27)

Para detener por completo el desarrollo microbiano hay que enfriar la leche por debajo de su punto de congelación. En éste caso, también se observa una disminución del número de gérmenes, pero ésta no es suficiente para que un número considerable de ellos no vuelvan a desarrollarse una vez descongelada.

Es por ésto que la conservación por el frío sólo puede aplicarse a leches rigurosamente limpias y sanas, bien porque han sido recogidas en condiciones higiénicas perfectas o por haber sufrido previamente un proceso de higienización. La refrigeración de la leche por encima de su punto de congelación, no altera su composición ni su es-

estructura, pero cuando el enfriamiento se acentúa, toda la fase grasa asciende a la superficie. Se comprende, pues, que haya que tomar ciertas precauciones al descongelar ésta leche. Una vez que la totalidad del producto ha vuelto al estado líquido, es necesario homogenizarlo cuidadosamente antes de su distribución. Además cuando la leche se congela lentamente puede presentar, una vez descongelada, grumos\* de caseína y partículas de mantequilla. Estos graves inconvenientes se evitan en la planta moderna efectuando una congelación rápida, con lo que no se da tiempo a que se separen los diversos elementos y la leche congelada conserve su homogeneidad.

---

\* Grumo.- Parte coagulada de caseína

## C A P I T U L O II

### TECNOLOGIA DEL TRATAMIENTO DE LA LECHE

#### 2.1 RECEPCION

En la mayoría de los casos, será necesario adoptar medidas para que la planta lechera pueda recibir, dos veces al día la leche no refrigerada, que es enviada en bidones por los distintos productores, después de cada ordeño, y para recibir una vez al día, la leche refrigerada transportada en bidones o en camiones cisternas, desde las fincas o desde los centros colectores.

Una alternativa puesta en práctica consiste en que en un período de 4 horas al iniciarse el día de trabajo, se recibirían 9.000 litros de leche en bidones a una temperatura inferior a  $+30$  o  $+35^{\circ}\text{C}$ , y 10.000 litros que llegarían en uno o varios camiones cisternas a una temperatura de  $+5$  o  $+10^{\circ}\text{C}$ , los 6.000 litros restantes llegarían también en bidones a una temperatura de  $+30$  o  $35^{\circ}\text{C}$  y se recibirían en un período de 3 horas, después de unas 10 horas de la entrega matinal, la cuál tendría que refrigerarse y almacenarse durante toda la noche para utilizarse en la mañana siguiente.

Es necesario adoptar las medidas necesarias para tratar la leche que no pueda pasteurizarse debido a su acidez o a su sabor y olor desagradable, ya que muchas veces no es factible devolverla al productor. Probablemente ésta leche de inferior calidad pueda llegar hasta 5.000 litros por día.

#### 2.1.1 DEPURADO

Aunque la leche generalmente se la filtra en los centros de recolección, es indispensable depurarla en la planta lechera. Por un parte, la primera filtración eliminaría únicamente las partículas de mayor tamaño en suciedad, sin embargo, es posible que durante el transporte se ensucie nuevamente.

Como la suciedad alberga muchos gérmenes, al aplicar la depuración se consigue también una reducción del contenido microbiano.

En la recepción solo se efectúa una depuración anticipada por medio de unos tamices colocados sobre el recipiente de la báscula y en la conducción entre el tanque de depósito previo y el recipiente de alimentación.

Estos tamices solo retienen las partículas mas grandes de suciedad tales como paja, raspa, etc. Para lograr una depuración mas completa de deben utilizar filtros de tejidos, los cuales se emplean cuando queremos purificar grandes cantidades de leche que no se va a pasteurizar inmediatamente después. Con la depuración se consigue

que el desarrollo de gérmenes sea relativamente escaso antes de entrar a higienizar la leche.

Los materiales filtrantes más usados son el algodón comprimido, los tejidos de nylon o los tamices metálicos de malla tupida.

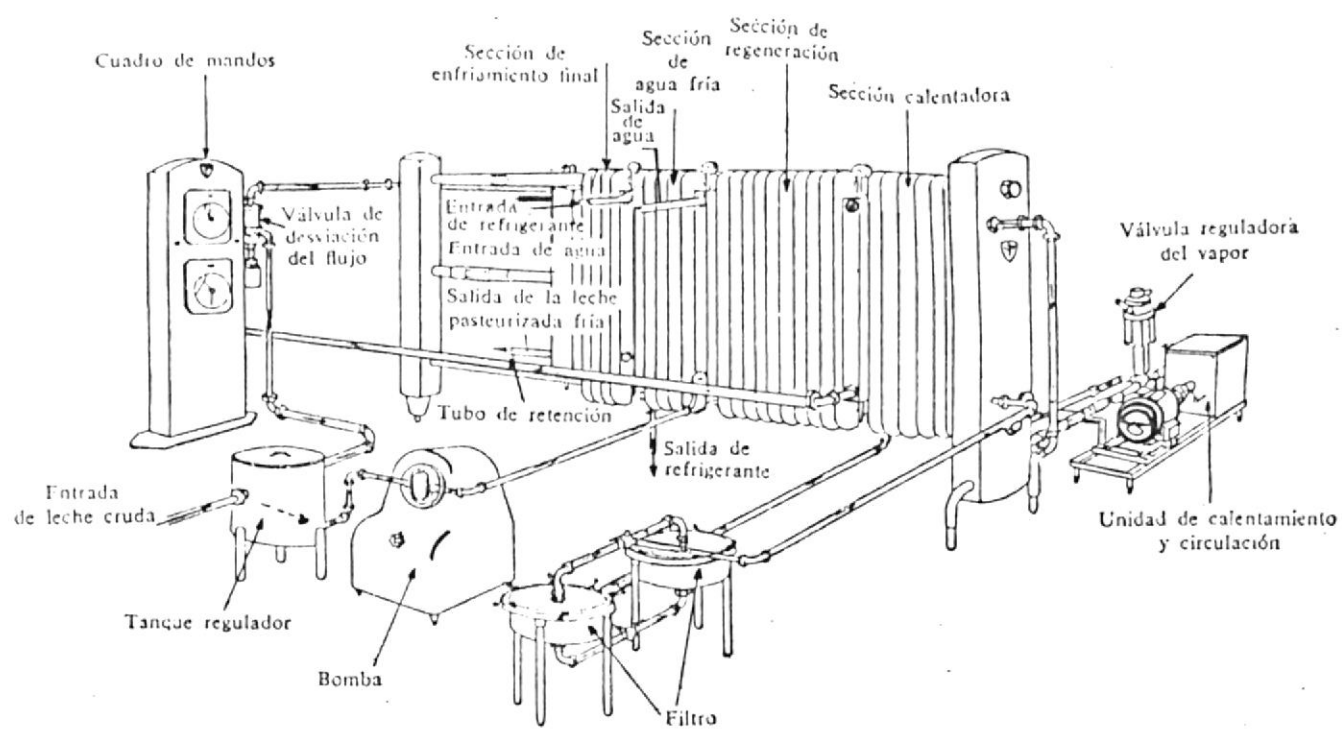
Otra alternativa cuando la leche contiene mucha grasa es que la filtración o clarificación se incluya como parte del proceso de pasteurización. Esta puede incluirse dentro del intercambiador de calor o puede ser una unidad aparte conectada a ésta mediante una tubería. Estos filtros son generalmente de doble cámara, de manera que no es preciso interrumpir la corriente mientras se cambian los paños. El indicador de presión de la bomba de leche cruda en la línea de salida nos indica cuando se debe cambiar el filtro (generalmente cuando la presión a la entrada del pasteurizador aumenta 3 lb/pulg<sup>2</sup> por encima de las que tenga cuando el filtro esté limpio).

La leche es filtrada a presión a través de un tejido de paño especial. Los márgenes de temperatura mas convenientes para la filtración eficaz son de 90-140°F (32-60°C).

Como en la planta lechera se dispone de homogenizadores, es más conveniente filtrarla en el pasteurizador, quedando sólo los tamices como filtro en la etapa de recepción.

El filtro será conectado al pasteurizador exteriormente debido a que los filtros deberán limpiarse más frecuentemente que el intercambiador Fig (2.1)

FIGURA 2.1 ESQUEMA DEL PASTEURIZADOR HTST



### 2.1.2 ENFRIAMIENTO

A continuación la leche cruda se bombea al depósito de almacenamiento, a través de un enfriador de placas, que reduce su temperatura de  $+35^{\circ}\text{C}$  que llega la leche cruda a  $+5^{\circ}\text{C}$  o menos. Esta operación de enfriamiento es esencial para retardar la multiplicación de los microorganismos que contiene la leche.

En el enfriador puede instalarse una sección de enfriamiento mediante agua corriente (distinta de la salmuera), si se dispone de un suministro a una temperatura conveniente. Utilizando éste procedimiento, podría disminuirse notablemente la cantidad de salmuera necesaria y reducir de ésta manera la carga de la instalación de refrigeración.

La bomba de la leche puede controlarse por medio de un interruptor de nivel, instalado en el depósito colector, con la finalidad de impedir la entrada de aire. La capacidad de la bomba de leche es de 10.000 litros por hora; por ende el enfriador de placas deberá ser de un tipo que se ajuste a éste ritmo y, como es posible que la leche no haya sido enfriada en forma alguna, deberá ser capaz de reducir de  $+30$  a  $5^{\circ}\text{C}$  la temperatura de ésta, teniendo en cuenta la velocidad indicada. Debe ponerse especial cuidado en verificar la acidez del producto que se recibe por la tarde. Si existe la menor duda acerca de si la leche, aunque se enfrie a menos de  $+5^{\circ}\text{C}$ , ha de permanecer dulce o no durante un período adicional de 12-15 ho-

ras, deberá pasteurizarse inmediatamente, y volverla a enfriar antes de enviarla a los depósitos de almacenamiento.

### 2.1.3. ALMACENAMIENTO PREVIO

La capacidad de los tanque para almacenar la leche cruda deberá ser lo suficientemente grande para poder lograr un equilibrio razonable entre el tiempo de recepción y el tiempo de utilización. La pasteurización de la leche fresca no debe comenzarse antes de que se haya acumulado una reserva suficiente de leche refrigerada en el depósito de almacenamiento de la leche cruda.

Con objeto de tener la flexibilidad necesaria para el uso del producto y las operaciones de limpieza, y tomando en consideración las condiciones previstas será necesario disponer 2 tanques de 10.000 litros cada uno, con ésto lograría limpiar y esterilizar unos de los depósitos antes de que termine la tarea diaria, a fin de tenerlo listo para recibir la leche de la mañana siguiente, mientras que el otro se utilizará para conservar durante la noche la leche que llega en el curso de la tarde.

Normalmente la capacidad de la recepción debe superar en un 10-20% aproximadamente a la de higienización en la sala de máquinas, así permite compensar las oscilaciones de la capacidad de recepción que puedan originarse, por ejemplo, por un transporte irregular.

Los tanques utilizados deben amoldarse a las condiciones siguientes:

- a.) Facilidad de limpieza
- b.) Buena protección térmica
- c.) Menor contacto con el aire circundante
- d.) Agitadores eficaces para impedir la descremación\* espontánea.

## 2.2 HIGIENIZACION

La higienización de la leche es una medida encaminada a mejorar la calidad de la leche cruda, de manera que puedan obtenerse eficazmente productos derivados de ella. Ni una gota de leche sin higienizar debe someterse a transformación industrial. La sala de máquinas, en la que se realiza la higienización de la leche, es el núcleo principal de la planta lechera.

Las partes más esenciales de la higienización son:

- 1.) Desnatado
- 2.) Pasteurizado
- 3.) Desodorizado
- 4.) Homogenizado

---

\*La descremación se produce cuando se separa la grasa por diferencia de gravedad.

### 2.2.1 DESNATADO

Durante el proceso de higienización la grasa debe ser separada parcial o totalmente de los otros componentes, puesto que es necesario que la leche contenga escasa cantidad de grasa para elaborar algunos productos lácteos.

La emulsión de grasa en agua es la parte más inestable del sistema polidisperso constituido por la leche, porque se trata de una suspensión y además porque la densidad de la grasa difiere notablemente de la correspondiente al resto del líquido.

$$\rho_{\text{grasa}} = 0.93 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \qquad \rho_{\text{plasma lácteo}} = 1.035 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

Para separar la grasa del plasma son posible teóricamente dos procedimientos: desnatado natural y desnatado mecánico.

En cualquier caso la eficiencia de la desnatadora es determinada por medio del contenido graso de la leche descremada. Una buena máquina no debe dejar mas de 0.01% de grasa.

No hace mucho tiempo que la importancia de la línea de crema en la leche era tal que en ella, el consumidor usaba su criterio acerca de ésta leche. Esto ha perdido gran parte de su importancia con la introducción de la homogenizadora.

En el diseño de la planta lechera se limita el uso de la desnatadora en la etapa inicial pero se tomará disposiciones para elaborar mantequilla y crema, posteriormente cuando el mercado lo requiera y haya más confianza.

### 2.2.2 PASTEURIZADO

Los fines de la pasteurización son hacer la leche sana para el consumo humano, destruyendo todas las bacterias que pueden ser peligrosas para la salud y mejorar la calidad de conservación de la leche, de forma que no se perjudique su sabor, el valor nutritivo y la línea de nata.

La planta moderna de pasteurización, está proyectada para exponer cada partícula de leche a una definida y cuidadosamente controlada combinación de tiempo y temperatura, con el objeto de destruir las bacterias patógenas y la mayoría de las que producen la descomposición de la leche, y para enfriar la leche inmediatamente a una temperatura suficientemente baja para retardar el crecimiento de las bacterias sobrevivientes que, sin ser peligrosas para la salud, pueden determinar su deterioro. Existen muchas combinaciones posibles de tiempo-temperatura cuyos métodos de pasteurización más utilizados son los siguientes:

a) El método discontinuo de tanque, en el que la combinación de tiempo-temperatura es de 30 minutos a 145-150<sup>o</sup>F (62.8-65.6<sup>o</sup>C).

b) El método de temperatura alta- tiempo corto o HTST, que utiliza una temperatura mínima de  $161^{\circ}\text{F}$  ( $71.7^{\circ}\text{C}$ ) por un tiempo mantenido como mínimo durante 15 segundos, antes de enfriarlas rápidamente.

Sólo hablaremos del segundo método ya que es el más utilizado, que consiste esencialmente de un tanque alimentador-regulador controlado mediante flotador, la bomba de leche, el regulador de flujo, el intercambiador de calor, el filtro, la sección de retención\* de la temperatura y los instrumentos Fig (2.1).

Todas las superficies metálicas en contacto con la leche son de acero inoxidable.

La sucesión de las operaciones se realizan como sigue: La leche ingresa al tanque regulador, luego pasa a la bomba de la leche cruda y entonces, si la bomba no es del tipo de desplazamiento positivo, pasa al intercambiador de calor mediante un regulador de flujo, en donde se calienta inicialmente por regeneración.

En esta sección la leche fría cruda recibe calor de la leche que ya ha sido calentada y mantenida a la temperatura máxima del procesado.

\*El sistema de retención está diseñado para retener la leche a una temperatura constante durante un tiempo de 15 segundos



El vapor, el agua de enfriado y las necesidades de refrigeración del proceso dependen del grado de regeneración que se obtenga, que se expresa generalmente como porcentaje del margen del calentamiento total.

Es así que si la temperatura de entrada de la leche cruda es de  $40^{\circ}\text{F}$  ( $4.5^{\circ}\text{C}$ ) y la temperatura máxima del procesado es de  $161^{\circ}\text{F}$  ( $71.7^{\circ}\text{C}$ ) dando una variación total de calentamiento de  $121^{\circ}\text{F}$  ( $67.2^{\circ}\text{C}$ ), un 80% de regeneración significaría que la leche cruda se calienta a  $0,80 \times 121 = 96.8^{\circ}\text{F}$  ( $53.8^{\circ}\text{C}$ ) mediante el calor tomado de la leche caliente y abandonaría la sección de regeneración a  $136.8^{\circ}\text{F}$  ( $58.3^{\circ}\text{C}$ ). De manera similar, la leche caliente se enfriaría por la leche cruda desde  $161^{\circ}\text{F}$  a  $64.2^{\circ}\text{F}$  ( $71.7$  a  $17.9^{\circ}\text{C}$ ).

Es frecuente filtrar la leche cruda después de que se calentó por regeneración y pasarla entonces a la sección de agua caliente en donde se calienta hasta la temperatura final de al menos  $161^{\circ}\text{F}$  ( $71.7^{\circ}\text{C}$ ).

La leche entra después a la sección de retención de la temperatura, que se trata de un tubo externo o un retardador incluido dentro de la estructura de calor, la cual fluyendo a través de ésta, toda la leche se mantiene a la temperatura de pasteurización durante 15 segundos por lo menos. La válvula de corriente de retención está situada en la parte externa del sistema de retención de la

temperatura, el cuál por medio de un instrumento de control, de la temperatura hace que ésta válvula se abra cuando la temperatura de la leche que deja la sección se halle por debajo de lo recomendado, de manera que la leche se devuelve al tanque alimentador-regulador.

Por razones de seguridad, ésta operación se acompaña por el cierre positivo de la conducción desde la parte externa de la sección de retención al punto de enfriamiento de la sección de regeneración, que es el cambio normalmente tomado por la leche si la temperatura de la sección de retención se halla a la temperatura prescrita o por encima de ella.

En la sección de regeneración la leche calentada se enfría por la leche cruda que entra, pasando a la sección de enfriamiento final, en donde, por medio del agua o salmuera helada, se lleva a una temperatura inferior a 50°F (10°C).

Las partes principales del pasteurizador son:

i) Intercambiador de calor.- La leche fluye siempre a través de cámaras alternas, alternando el medio calentador y refrigerador con él y marchando generalmente en dirección opuesta (flujo de contracorriente) con el objeto de aumentar la razón de transferencia de calor. En el intercambiador, el agua caliente utilizada para calentar la leche se la hace circular a una velocidad varias veces superior a la de ésta. Esto aumenta la velocidad de transferencia de calor y reduce la diferencia entre la temperatura final de la

leche calentada y la temperatura de entrada del agua caliente.

Además, en la sección de agua fría la relación de velocidad entre el agua fría y la corriente de leche apenas si sobrepasa un 2:1. En la sección de agua o salmuera helada la relación varía entre 2:1 y 6:1 y en la sección de regeneración la relación leche/leche es de 1:1.

En el caso de la planta lechera se ha previsto una producción de 5.000 litros/hora, es decir que el diseño del intercambiador de calor es tal que pueda funcionar continuamente durante 5 horas por lo menos sin que haya que efectuar una limpieza intermedia.

ii) Bomba.- Las bombas alimentadoras de leche para la planta lechera pueden ser centrífugas o del tipo de desplazamiento positivo. Estas deben ser construídas de acero inoxidable, y generalmente son impulsada por motores eléctricos impermeabilizados.

a) - Bombas centrífugas.- Una de las desventajas es que hay variación de flujo con la presión de salida, por tanto debe usarse algún tipo de mecanismo de control de flujo.

b)- Bombas de desplazamiento positivo.- Son generalmente de tipo rotativo, y de diseño higiénico. Estas bombas transmiten una cantidad determinada de líquido en cada revolución y así la cantidad de líquido impulsada se afecta únicamente por la velocidad de

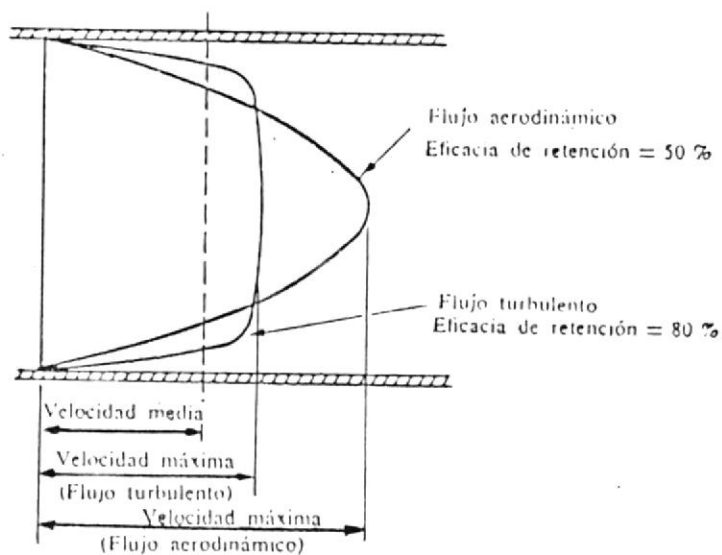
rotación. Cuando lleva cierto tiempo usándose, puede producirse una ligera reducción de la cantidad impulsada y aumentará el tiempo de retención. Para compensar esto puede ajustarse la velocidad de la bomba.

Es esencial una válvula aliviadora de la presión, en la parte de salida de éste tipo de bomba.

iii) Tubos de retención.- Las cámaras de retención tubular son de sección circular y están situadas exteriormente con respecto al intercambiador de calor. Fig (2.1).

Con la viscosidad, la densidad y la velocidad de flujo de la leche podemos calcular la longitud y diámetro del tubo y decidir si la leche debe pasar en flujo aerodinámico o en flujo turbulento. Fig (2.2)

FIGURA 2.2 Gráfico mostrando la relación entre las velocidades media y máxima en condiciones de flujo aerodinámico y el flujo turbulento.



En el flujo aerodinámico la leche más próxima a las paredes del tubo permanece casi estacionaria, mientras que la parte central fluye a una velocidad mucho mayor que la masa principal de leche y, por tanto, para tener seguridad de que las partículas más rápidas se retienen durante el tiempo mínimo señalado, la mayor parte de la leche debe reternerse durante un tiempo considerablemente mayor. Sin embargo, si la leche pasa en flujo turbulento la diferencia de velocidad entre las partículas más rápidas y el promedio no es tan grande, y el sistema de retención puede diseñarse con medidas adecuadas para un menor grado de sobreretención. La relación entre la velocidad de la partícula más rápida y la velocidad media teórica de la leche que atraviesa el sistema de retención se denomina "eficiencia de retención" y se expresa generalmente como porcentaje.

$$\mathcal{L} = \frac{t_1}{t_2} \times 100 \quad \text{Ref (L-1)}$$

$\mathcal{L}$  = Eficiencia de retención

$t_1$  = Tiempo real para la primera partícula de leche que se descubre atraviesa el tubo retentor.

$t_2$  = Tiempo medio teórico para la leche que pasa a través del tubo de retención, calculado partiendo de la capacidad del tubo y de la velocidad de flujo de la leche.

La eficiencia de retención para un tubo en el que el flujo es laminar (aerodinámico) es aproximadamente 50%, pero si el flujo es turbulento la eficiencia puede ser hasta de 80%.

iv) Instrumentos.- Los instrumentos son la parte más delicadas de la planta de pasteurización y por ello deben tratarse cuidadosamente.

a)- Termómetros indicadores.- La mayoría son del tipo de varilla de mercurio. Los de mayor seguridad son lo que tienen la escala grabada en el vidrio.

El termómetro más importante de la planta lechera es el termómetro indicador utilizado como comprobador del termómetro registrador de la leche calentada.

b)- Termómetros registradores.- Proporcionan un registro permanente de la temperatura de la leche caliente o fría. El movimiento de la pluma registradora se obtiene por el movimiento de enlace de un tubo Bourdon movidos por los cambios de temperatura en el bulbo del instrumento.

c)- Registro de temperatura de la leche caliente y reguladores de la válvula de desviación de flujo.- Son complicados instrumentos que registran la temperatura a la que se ha calentado la leche y regulan la válvula de desviación de flujo, cuya misión es desviar hacia el tanque regulador la leche que no se haya calentado a la temperatura fijada.

d)- Termostato.- Regula la temperatura del agua caliente. Se

utilizan dos tipos: El tipo proporcional simple y el de funcionamiento totalmente automático.

e)- Indicadores de presión.- Se colocan en diversos puntos de la planta, para registrar las presiones de la leche, vapor, agua o aire. Los indicadores higiénicos de diafragma en acero inoxidable se utilizarán para las tuberías de leche y los del tipo de Bourdon para las otras tuberías.

#### CALCULO PRACTICO

En la fig (2.3) tenemos un esquema de un calentador de pasteurización rápida.

Las distintas zonas térmicas están ordenadas de manera que a la caliente sigue la próxima más fría para evitar pérdidas de energía.

La leche:

_____ Leche	entra a .....	5°C
----- Agua caliente	se calienta en el regenerador .....	58°C
..... Vapor	se calienta en la sección de calefacción ..	73°C
..... Agua fría	Se enfría en el regenerador a .....	21°C
..... Agua helada	Se enfría en la sección de refrigeración a .	4°C

Eficiencia de regeneración:

$$\left[ \frac{(58 - 5)}{(73 - 5)} \right] \times 100 = 77.77 \%$$

$$\left[ \frac{(73 - 21)}{(73 - 4)} \right] \times 100 = 75.36 \%$$

Si en la planta lechera se somete a pasteurización 25.000 litros de leche (de una temperatura inicial de 5°C hasta 73°C). La recuperación de calor por intercambio calorífico entre la leche calentada y la no expuesta aún a la acción térmica en la sección de regeneración es de 77.77%. Este dato es importante para el cálculo del balance térmico a realizarse en el capítulo 4.

### 2.2.3 DESODORIZADO

La desodorización se efectúa después de la pasteurización y para esto se emplea el desodorizador, que permite eliminar los malos olores presentes en la leche. Es importante en la planta debido a que la leche pasteurizada será para el consumo directo.

El tanque desodorizador y desgasificador al vacío se compone de las siguientes partes (cuya numeración convencionalmente es representada en la fig No. 2.4)

- 1 Tubería de entrada de la leche.
- 2 Tubería de extracción de los olores y de los gases. Estos son aspirados por una bomba de vacío.
- 3 Mirilla de observación.
- 4 Bomba para leche.
- 5 Tubería de transporte de la leche desodorizada y desgasificada.

En la Fig (2.4) se observa que la leche entra en el tanque al vacío. La rápida expansión en el interior del tanque provoca el desprendimiento de los gases disueltos y las sustancias volátiles que son responsables de los malos olores, son eliminadas por la tubería de vacío.

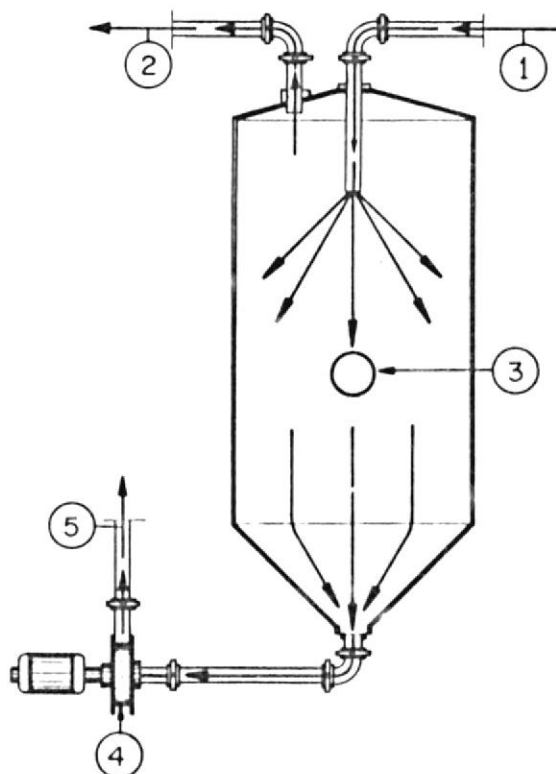


FIGURA 2.4

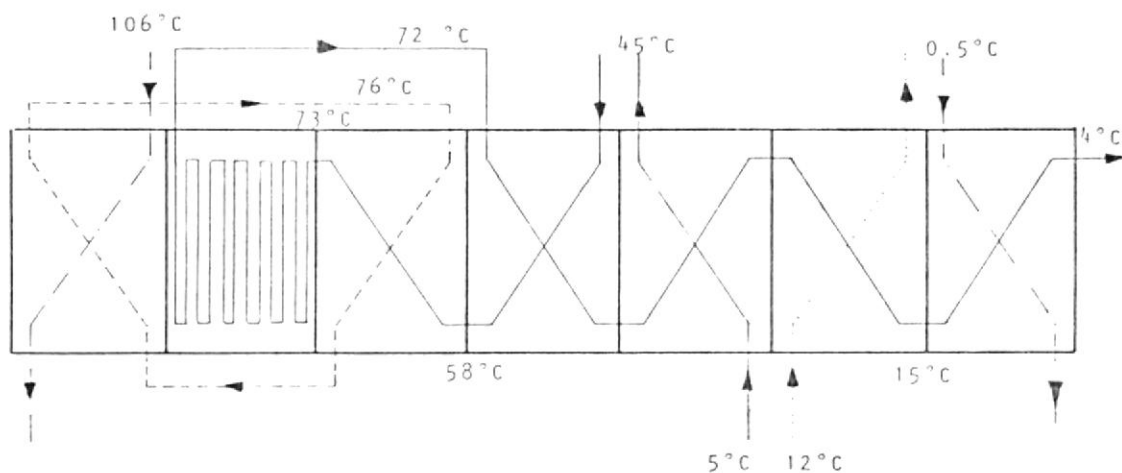


FIGURA 2.3 ESQUEMA DE CIRCULACION DEL PASTEURIZADOR HTST

#### 2.2.4 HOMOGENIZADO

La homogenización consiste en reducir de tamaño y dispersar muy finamente las partículas emulsionadas en una mezcla líquida. Esta mezcla adquiere así estabilidad por un tiempo más prolongado.

La temperatura óptima para el proceso de homogenización es de 40-70°C. Por tanto es conveniente asociarle al proceso de tratamiento térmico, es decir la pasteurización.

Por regla general, la capacidad del homogenizador es la misma que la del pasteurizador, es decir, 5.000 litros por hora y deberá poderse variar la presión de funcionamiento, para adaptar al producto y limitarla al nivel necesario, a fin de reducir al mínimo las necesidades de energía.

Las conexiones se hacen del lado de la leche cruda para evitar la contaminación después del tratamiento. A la salida de la sección de recuperación del intercambiador térmico, la leche pasa a través del homogenizador y se re-envía hacia la entrada de la sección de calentamiento. La temperatura de la leche caliente que recibe el homogenizador es a 45°C. Es importante que el homogenizador se halle antes de la válvula de desviación de la marcha de flujo, ya que en otro caso se quedará sin leche si se produce una desviación.



El homogenizador debe siempre disponer de una aporte de leche adecuada, pues caso contrario podría producirse un vacío y con lo cuál el equipo podría averiarse gravemente.

El homogenizador es una bomba de desplazamiento positivo de tipo de pistón, consta de tres cilindros, con objeto de reducir al mínimo las variaciones cíclicas del caudal. La leche pasa sucesivamente a cada uno de éstos cilindros, la cuál pasa a presión a través de un orificio situado debajo de la válvula de homogenización, y se carga, mediante un potente resorte que se regula mediante un volante Fig (2.5). La presión ejercida por el sistema de carga se equilibra por la presión de la leche, a la que se obliga a pasar por el orificio entre la válvula y el asiento, la cuál provoca la fractura de los glóbulos más grandes de materia de grasa.

El dispositivo homogenizador se compone de las siguientes partes (cuya numeración convencional es representada en la fig (2.5)

- 6 Tubo de entrada de la leche a presión.
- 7 Manómetro
- 8 Volante regulador de la presión del resorte.
- 9 Resorte del dispositivo homogenizador.
- 10 Dispositivo homogenizador.
- 11 Cámara de disminución brusca de la presión.
- 12 Salida de la leche homogenizada.

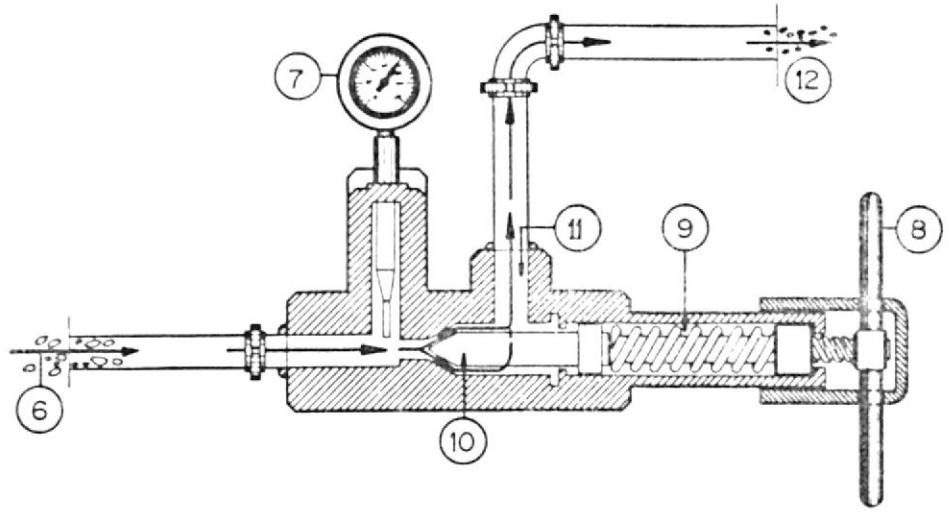
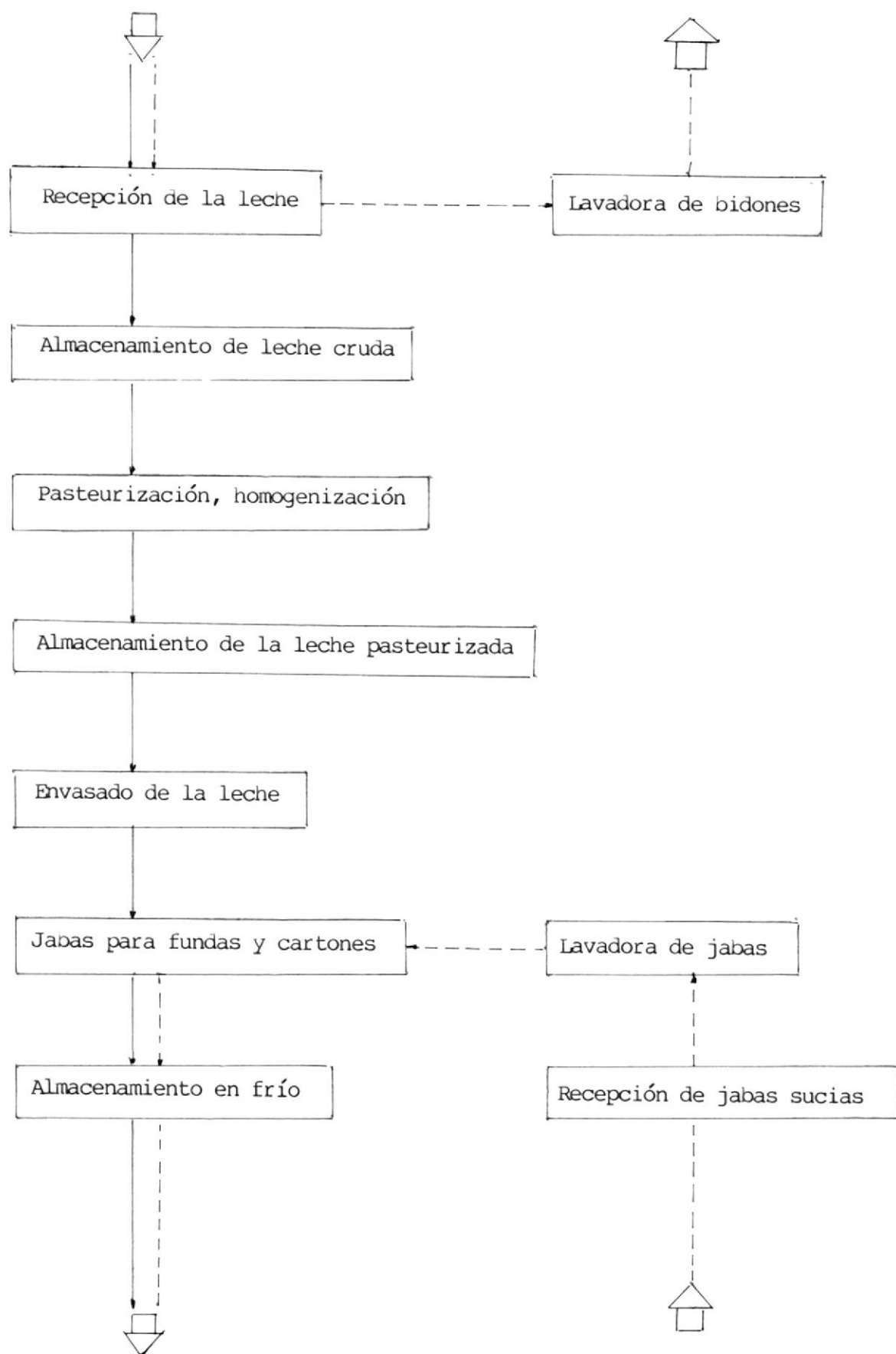


FIGURA 2.5

FIGURA 2.6 FLUJOGRAMA DEL PROCESO EN LA PLANTA LECHERA



## C A P I T U L O   I I I

### SERVICIOS DE LA PLANTA

#### 3.1 REQUERIMIENTOS

Las operaciones para el tratamiento de la leche que se describió en el capítulo 2, requieren de servicios auxiliares, siendo los más importantes:

- a) Suministro de agua
- b) Suministro de vapor
- c) Suministro de electricidad; y,
- d) Suministro de aire comprimido.

La ventilación y los medios para eliminar los líquidos residuales constituyen, igualmente, otros de los servicios necesarios.

En lo que respecta a ubicación de los servicios auxiliares, tales como: Las calderas de vapor, el equipo de refrigeración, el grupo electrógeno, la subestación de distribución de la electricidad, los talleres de mecánica, así como las instalaciones para la alimentación de agua y su tratamiento se ubicarán en la sala de máquinas.

El equipo que se destina al tratamiento de las aguas residuales (en el caso de que se necesite) deberá situarse a una distancia razonable del edificio de proceso.

### 3.1.1 Agua

El agua utilizada para los procesos de producción y otros trabajos es un elemento que se requiere diariamente. Esta agua se puede dividir en dos grupos: agua fresca\* y agua templada\*\*.

Las necesidades pueden calcularse, pudiendo llegar a ser varias veces el volumen de leche tratada, por consiguiente, cualquiera que sea la fuente del suministro de agua, se necesitarán medios e instalaciones para su almacenamiento.

Además es importante establecer un severo control contra su despilfarro, es así, que en todos los casos que sea posible, el agua deberá recuperarse para volverla a utilizar. Por ejemplo, el agua empleada en los condensadores de las instalaciones frigoríficas, no

---

\*Agua fresca es la que entra en contacto con los productos lácteos y también es utilizada para la limpieza.

\*\* Agua templada es la que se emplea después que sale de los refrigeradores.

entra en contacto con el equipo de elaboración y por tanto puede ser utilizada indefinidamente siempre que se vuelva a enfriar mediante evaporación parcial.

El consumo de agua en el sistema frigorífico puede reducirse a 1/20 si se utilizan condensadores evaporativos, en comparación con el agua que se necesita para los condensadores multitubulares Tabla (3.1). Si utilizamos los condensadores multitubulares o enfriados por agua se deberá montar una torre de enfriamiento para economizar el agua utilizada.

TABLA 3.1 CONSUMO DE AGUA DE LOS CONDENSADORES

Rendimiento Kcal/h	20.000	35.000	60.000	120.000	180.000
Cantidad de agua refrigerante en m <sup>3</sup> /h en los condensadores multitubulares.	2.6	4	9	16	19
Condensadores evaporativos m <sup>3</sup> /h	0.1	0.25	0.4	0.7	1

Ref (22)

Además se deberán atender a las necesidades del personal de la

planta lechera siendo estos: Para preparación de alimentos, lavado de utensilios de cocina, lavabos, retretes y las duchas. Por otra parte, también se necesita agua caliente para éstos fines y la forma más práctica de obtenerla es por medio de generadores calentados con vapor.

Si es que dado el estudio previo, se selecciona como agente de refrigeración el agua helada, será necesario disponer de un depósito aislado térmicamente para almacenar ésta agua helada. En éste caso será necesario mantener un estricto control sobre la limpieza y acidez del agua helada.

Por otra parte es preciso indicar, que el agua que se destina a la planta lechera deberá controlarse su contenido de hierro y magnesio.

El consumo de agua se distribuye en las distintas fases de cada proceso de producción tales como:

- a) Trabajos preliminares (T)
- b) Producción (P)
- c) Limpieza (L)

Los índices óptimos de consumo se encuentra en la siguiente Tabla 3.2

TABLA No. 3.2

## CONSUMO MEDIO DE AGUA EN LA PLANTA LECHERA

APLICACION	Consumo de agua fresca		Consumo de agua templada	
	(P)	(T+L)	(P)	(T+L)
Leche en bidones (500 bidones/h)	—	—	0.25 m <sup>3</sup> por t.de leche	21 m <sup>3</sup> por turno
Higienización de la leche. (5.000 litros/h)	2 m <sup>3</sup> por t. de leche	2.4 m <sup>3</sup> por turno	—	4 m <sup>3</sup> por turno

Ref (22)

TABLA No. 3.3

Consumo medio	
Agua de refrigeración: (Sin equipo de recuperación)..	2.7 m <sup>3</sup> por t. de leche.
(Con equipo de recuperación)..	2-2.5 m <sup>3</sup> (templada si es posible) por t. de leche.
Servicios.....	80 litros de agua al día por empleado

Para estimar el consumo total en la planta lechera debemos calcular el gasto correspondiente a la tabla (3.2) y tabla (3.3) el valor final es la suma de los dos. Tenemos entonces que en 25.000 litros de leche diario que procesa la planta, el consumo total de agua es de aproximadamente 7 m<sup>3</sup> por tonelada de leche.

### 3.1.2 Vapor

La planta lechera puede surtirse de la energía térmica necesaria mediante la producción propia de vapor. Por lo menos se instalarán 2 calderas de vapor, siendo preferible que ambas sean de las mismas características para simplificar su mantenimiento. La potencia de una de ésta debe ser suficiente para satisfacer la totalidad de las necesidades de vapor durante la temporada de baja producción, con el objeto de proceder a la inspección y reparaciones anuales. Sin embargo, como medida de previsión, las calderas de vapor se instalará de tal forma que si las expansiones ulteriores lo exigen pueden ser sustituidas por otras que tengan una capacidad de producción de va-

por más elevada.

La presión de vapor deberá adaptarse a las distintas necesidades, la cual se consigue mediante la instalación de válvulas reductoras de presión en los lugares apropiados. En la figura 3.1) se muestra esquemáticamente la distribución del vapor y la recuperación del agua de condensación en la planta lechera. Una parte del agua de alimentación para la caldera está constituida por condensado que regresa al equipo de elaboración. No obstante, como el vapor de la máquina para lavar los bidones metálicos, descarga el vapor en la alcantarilla de agua residuales, es necesario un suministro complementario para cubrir la demanda del generador de vapor.

Esta agua, debe ser blanda, con el objeto de reducir a un mínimo la formación de incrustaciones en las superficies calefactoras de la caldera. Es inevitable que las sales disueltas se precipiten en la caldera y, por tanto, deberá mantenerse la concentración de sales minerales totales a un nivel seguro que excluya todo peligro. El tratamiento químico del agua de alimentación de las calderas, combinados con las extracciones regulares, permitirá conservar las superficies limpias.

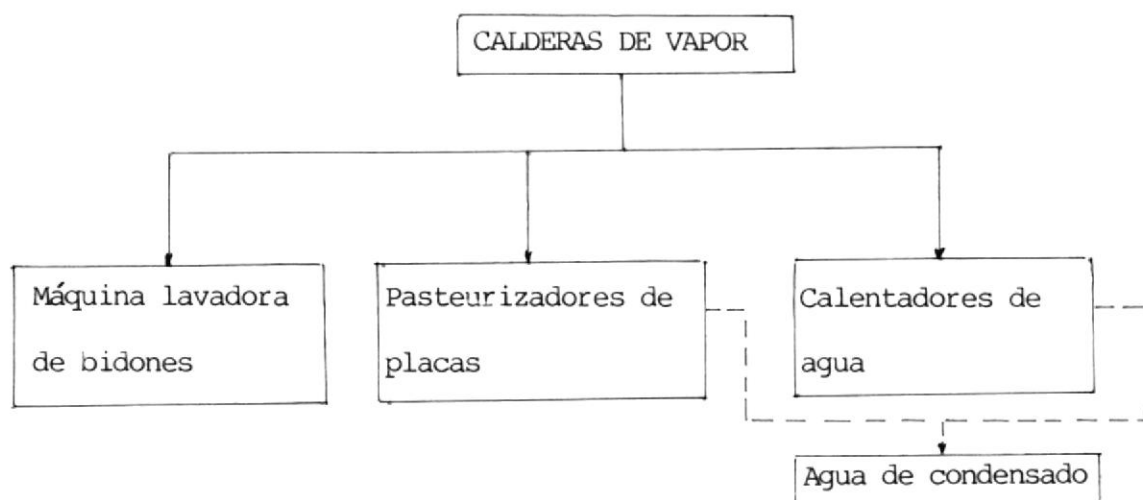
Las cantidades especificadas en la tabla (3.4), representan valores óptimos de consumo de vapor y se distribuyen en . Trabajos preliminares (T), producción (P) y limpieza (L).

TABLA 3.4 CONSUMO MEDIO DE VAPOR

APLICACION	Vapor en Kg.	
	(P)	(T+L)
Leche en bidones 500 bidones por hora	23 por t. de leche	553 por turno
Higienización de la leche (5.000 ltrs/h)	27 por t. de leche	352 por turno
Consumo suplementario (agua caliente)	_____	80 por t. de leche
Consumo total	285-400 Kg. por t. de leche	

Ref (22)

FIGURA 3.1 ESQUEMA DE LA DISTRIBUCION DE VAPOR EN LA PLANTA LECHEIRA



### 3.1.3 Electricidad

En la planta se necesita una distribución eléctrica, que deberá suministrar la energía motriz, y la energía que se necesita para el funcionamiento de los diversos sistemas de control, así como para la iluminación. Como el suministro local es de corriente alterna trifásica, la entrada de la corriente será de alto voltaje, que pasará por un transformador para dar servicio exclusivamente a la planta lechera.

Para conseguir un mejor servicio, es preferible preveer una doble alimentación ya sea de 2 líneas de alta tensión o ya sea de una red anular. El cuadro principal de distribución, está situado en el edificio de los servicios auxiliares, y mediante cables de alimentación se conectan a los cuadros de distribución que existan en cada edificio. Todos los aparatos de protección de los motores de la instalación para los tratamientos, deberán estar situados en las salas de los interruptores y los pulsadores de mando se colocarán en los sitios apropiados.

Con corriente alterna, las cargas inductivas, tales como las que se provocan por los pequeños motores monofásicos o las válvulas electromagnéticas provocan un desfase de la corriente y variaciones de voltaje. El resultado es que la potencia real disponible, medida en kilovatios, es inferior a la potencia aparente medida en kilovoltios-amperios. Esta reducción la determinamos por el "factor de potencia" el cual, para el equipo de la planta lechera, es del or-

den de 0.8. Esto se traduce en una carga económica extra, y quizás resulte más económico instalar un equipo apropiado para corregir éste factor.

Se instalará un generador, ya que la planta puede estar sometida a frecuentes interrupciones, cuya potencia será algo menor a las necesidades máximas totales, y adecuada solamente para atender a las necesidades de energía de aquellos elementos del equipo que deban mantenerse funcionando para impedir que se produzca pérdidas de productos. Estos generadores se situarán en el edificio de los servicios auxiliares.

En la planta lechera el sistema de distribución eléctrica deberá diseñarse e instalarse de acuerdo con las más altas normas de seguridad, sobre todo la humedad, por ejemplo, cuando el suelo es demasiado húmedo éste crea frecuentemente una condición eléctrica de tierra.

Todas las máquinas de la planta lechera tienen impulsión eléctrica independiente, ésto es, cada una de ellas dispone de un motor eléctrico adaptado a su rendimiento. Cada motor va provisto de un interruptor automático que corta la corriente si se produjera una sobrecarga. El manejo de los motores se hará normalmente desde un cuadro de mando central, protegido a su vez contra las salpicaduras de agua.

Las necesidades de electricidad se encuentran en la tabla (3.5)

TABLA 3.5 Requerimiento de electricidad para una planta lechera

Número de elementos	ELEMENTOS	ELECTRICIDAD (KW)
	RECEPCION DE LA LECHE	
1	Transportador de los bidones	2.2
1	Bomba de leche	2.6
1	Bomba de leche	3.7
2	Tanque de almacenamiento	1.0
1	Bomba de leche	3.0
1	Máquina lavadoras de bidones	8.4
	PASTEURIZACION	
1	Bomba de leche	2.6
1	Instalaciones de agua caliente	1.1
2	Tanque de almacenamiento	1.5
1	Bomba de distribución de leche	3.0
1	Homogeneizador	37.0
	ENVASADO DE LA LECHE PASTEURIZADA	
1	Llenadora de bolsita	2.5
1	Llenadora de cartones	4.0
1	Transportadores de bolsitas y cartones	1.5
	LIMPIEZA "in situ"	
1	Bomba de circulación	7.4
	CONSUMO SUPLEMENTARIO:	
	Agitador, bombas, ventiladores para la instalación de frío.	0.3 (kw-h) por 1.000 Kcal
	Iluminación, taller, sala de calderas.	1.2 Kw-h por t. de leche

#### 3.1.4 Aire comprimido

En las grandes plantas lecheras se necesita un servicio de aire comprimido, no obstante, las necesidades limitadas de la planta lechera estudiada no justificará una instalación completa. El equipo para cuyo funcionamiento es necesario disponer de aire comprimido, por ejemplo, la máquina envasadora e instrumentos de control, puede ser suministrado por pequeños compresores situados en el lugar de trabajo.

Lo importante es que el aire suministrado sea frío, seco, limpio y libre de aceite y deben cuidarse los siguiente puntos:

- a.) El admisor de aire se situará a un nivel más bajo que el de los instrumentos, para que pueda eliminarse cualquier humedad de condensación.
- b.) El compresor se colocará en un lugar donde pueda recibir aire limpio y fresco.
- c.) Deben existir filtros en las tuberías de succión y descarga del compresor.
- d.) La tubería de descarga del compresor debe ser suficientemente larga para que pueda enfriarse lo más posible el aire comprimido que llega a los instrumentos.



### 3.2 Otros requerimientos

Ventilación.- En algunas zonas, por ejemplo, en los lugares donde se lavan bidones o donde el suelo se limpia con mangueras de agua, habrá una gran humedad, y ésto hace, igualmente desagradables las condiciones de trabajo, originando condensaciones sobre las superficies frías, con los inherentes riesgos de corrosión y contaminación que ésto implica. Para evitar éstos problemas se deberá calcular con sumo cuidado el volumen de aire que es necesario suministrar mediante ventilación, las cifras que se indican en la Tabla (3.6) dan una indicación de las necesidades en la planta lechera.

TABLA 3.6

LUGAR	$m^3/m^2$ por superficie y por hora
- Sala para el tratamiento de la leche.	30
- Vestuarios	25
- Laboratorio, Oficinas	10

Ref (8)

El método seleccionado, consiste en utilizar un sistema compensado de ventilación mediante el cual, el aire filtrado se inyecta hacia el interior y el aire de escape es aspirado por ventiladores. El rendimiento de los ventiladores podrá ajustarse de tal forma que, en

la sala podrá crearse una depresión o una sobrepresión.

Se deberá tener en cuenta los siguientes puntos:

- a) Siempre que sea posible, el vapor de agua y los malos olores deberán canalizarse directamente hacia el exterior.
- b) El sistema deberá proyectarse de forma que provoque un flujo de aire directo a través de la sala que debe ventilarse.
- c) En la proximidad de los operarios, la velocidad del aire deberá mantenerse lo más reducida posible, alrededor de 0.5 m/seg.

Eliminación de las aguas residuales.- La cantidad diaria de agua residual en la planta es considerable y ésta se origina de las siguientes fuentes:

- a) Aguas residuales que contienen componentes de la leche. Su cantidad varia de 0.8 y 1.5 el volumen de la leche transformada cada día.
- b) Aguas residuales de los servicios higiénicos y lavabos. Representan unos 75 litros por empleado.
- c) Aguas residuales de la refrigeración. Representan una cantidad de 2 a 4 veces mayor el volumen de la leche transformada cada día.

## C A P I T U L O IV

### SELECCION DE LA CALDERA

#### 4.1 TIPOS DE CARGAS TERMICAS

Para calcular la potencia o capacidad que deben tener las calderas que se utilizarán para abastecer de energía térmica a la planta lechera, cuya producción es de 25.000 litros de leche por día; debemos conocer a priori la cantidad de vapor que se necesitará en toda la planta, considerándolo a plena carga.

Las cargas térmicas de los equipos son:

##### 1. Máquinas lavadora de bidones

Característica: Transporta, limpia y desinfecta bidones de 20 litros de volumen, a una capacidad de 500 bidones/h.

Consumo de energía eléctrica: 8.4 Kw-h

Consumo de vapor: 496 lbs/h a una presión de 50 lbs/plg<sup>2</sup>

## 2. Calentador de placas para la pasteurización

Características: Es de calentamiento indirecto, es decir, que el calentamiento y la refrigeración se efectúan en cambiadores de placas, y no existe mezcla directa entre la leche y vapor.

Cálculo para hallar el consumo de vapor en Kg/h:

$$Q_n = \text{Cantidad de calor necesario} \quad \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = \text{Flujo másico de la leche} \quad \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$C_p$  = Calor específico de la leche.

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre la entrada y salida del pasteurizador ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$Q_n = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$Q_n = 5.000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 0.94 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} (71.7 - 4.5)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_n = 315.840 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Como se recupera aproximadamente el 80% (resultado del cálculo de la eficiencia de generación en el numeral 2.2.2). Entonces:

$$\text{Consumo real de calor} = 100\% - 80\% = 20\%$$

Es decir se consumirá

$$\frac{20 \times 315,849}{100} \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 63163 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{0.252 \text{ Kcal}} = 250.667 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

En la tabla (4.1), encontramos algunas propiedades termodinámicas del contenido de vapor saturado establecidas en la práctica para lecherías.

Tabla 4.1

Presión manométrica lbs/plg <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatura °F (°C)	Calor sensible BTU/lb ( Kcal ) Kg	Calor latente BTU/lb ( Kcal ) Kg	Calor Total BTU/lb ( Kcal ) Kg
0 (0)	212 (100)	180 (100)	971 (539)	1151 (639)
15 (1.05)	250 (121)	218 (121)	946 (526)	11643 (647)
30 (2.11)	274 (134)	243 (135)	930 (517)	1173 (652)
50 (3.52)	298 (148)	267 (148)	912 (507)	1180 (656)
100 (7.03)	338 (170)	309 (172)	882 (490)	1191 (662)

Ref (8)

Para el tratamiento de pasteurización de temperatura alta - tiempo corto se utiliza vapor a 30 lbs/pg<sup>2</sup>

Presión manométrica = 30 lbs/plg<sup>2</sup> -----> Calor latente = 930 BTU/lb

$$\text{Consumo de vapor} = \frac{\text{Cantidad de calor}}{\text{Calor latente}} = \frac{250.667 \text{ BTU/h}}{930 \text{ BTU/lb}} = 270 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

$$\text{Consumo de vapor} = 270 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

### 3. Calentadores de agua

Características: Se utilizarán marmitas enchaquetadas con cierre de control de temperatura. El agua es calentada por serpentines de vapor.

El volumen requerido de agua caliente es como sigue:

a) Limpieza "in situ" -----> 2641 Gal

b) Servicios sociales -----> 1.200 Gal

El volumen total es de 3841 Gal. que se utilizarán en un período de 3 horas.

Se utilizarán 3 marmitas con las siguientes características:

Capacidad = 400 Gal/h

Temperatura de agua de entrada = 55 °F

Temperatura de agua a la salida = 165 °F

Consumo de vapor de cada marmita = 485 lb/h

Consumo de vapor total en las 3 marmitas = 1455 lb/h

Presión máxima admisible = 30 lbs/plg<sup>2</sup>

### Consumo total de vapor.

Para obtener el consumo total de vapor en la planta lechera, sumamos el consumo de todas las cargas:

- 1) Máquina lavadora de bidones -----> 496 lb/h ---> No Recuperable
- 2) Calentador de placas para pasteurizar --> 270 lb/h ---> Recuperable
- 3) Marmitas calentadoras de agua -----> 1455 lb/h ---> Recuperable

PRODUCCION TOTAL DE VAPOR -----> 2221 lb  
h

#### 4.2 BALANCE TERMICO GLOBAL

Con el consumo total de vapor y conocida cada una de las cargas térmicas de los equipos, procedemos a realizar el balance térmico global, para el cual necesitamos establecer las siguientes pérdidas:

4.2.1 Pérdidas de vapor.- Siendo la demanda de la planta lechera de 2221 lb/h de vapor calculado a plena carga, existe una parte del vapor generado que una vez que pasan por el proceso y llevando consigo gran parte de energía no siempre es recuperable por lo que significa pérdidas en el sistema. Esta se encuentra en forma de condensado que llega a una tubería de desagüe.

En la máquina lavadora de bidones existe este tipo de pérdida de vapor ya que, el vapor que se inyecta tiene contacto directo con los residuos de leche que se encuentran al voltear los bidones, y ésta

tiene un alto contenido de impurezas.

Se perderá entonces 496 lb/h de vapor que una vez completado el ciclo, no alimentará a la caldera nuevamente. Estas pérdidas serán compensadas de una fuente de alimentación de agua tratada proveniente de la planta de tratamiento de agua. Esta se mezclará con el condensado antes de bombear a la caldera.

4.2.2 Pérdidas por radiación y convección natural.- Estas pérdidas se calculan con análisis y procedimientos muy complejos, como no es tema de enfoque de nuestro estudio, diremos que estas pérdidas son del 10% de la carga térmica de cada equipo.

La producción de la caldera en lb/h no constituye una unidad absoluta, ya que, el vapor a diferentes presiones y temperaturas de la caldera, contiene distintas cantidades de energía. Para tener una medida absoluta de capacidad necesitamos conocer la cantidad de calor transmitido al vapor.

Cálculo de la cantidad de calor transmitido al agua en la caldera:

$$Q_{tr} = W_{bo} (h_2 - h_1) \quad \text{Ref (4)}$$

$Q_{tr}$  = Cantidad de calor transmitido.

$W_{bo}$  = Libras de agua de alimentación de la caldera.

$h_1$  = Entalpía del agua que llega a la caldera.

$h_2$  = Entalpía del vapor producido por la caldera.

Cálculo de  $h_1$ :

Temperatura del agua de entrada a la caldera =  $T_1 = 158$  °F

Presión de descarga de la bomba =  $P_1 = 125$  lbs/plg<sup>2</sup> abs

Entonces para líquido comprimido en la Tabla de vapor encontramos que:

$$h_1 = 126.2 \text{ BTU/lb}$$

Cálculo de  $h_2$ :

Temperatura del vapor a la salida de la caldera =  $T_2 = 338$  °F

Presión del vapor a la salida de la caldera =  $P_2 = 115$  lbs/plg<sup>2</sup> abs.  
(absolutas).

$$h_2 = h_g = 1190 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

Así

$$Q_{tr} = 2251 \frac{\text{lb}}{\text{h}} (1190 - 126.2) \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 2'394.390 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Cálculo de la capacidad de la caldera.

$$\text{Caballos de caldera (C.C.)} = \frac{W_{bo} (h_2 - h_1)}{33475}$$

$$\text{C.C.} = \frac{2'394.390 \text{ BTU/h}}{33475} = 71.5 \text{ C.C.}$$

Para la selección de la caldera ajustamos esta capacidad a 80 C.C. que se hallan dentro de las normas de Cleaver Brooks. Tabla (4.2)

#### 4.3. TIPOS DE CALDERAS

Para hacer una selección de caldera se necesita establecer las características que imponen en los distintos tipos de instalaciones para generar vapor.

Así las características más importantes son:

4.3.1 Combustible utilizado.- Dentro de la extensa gama de combustibles, los más importantes para uso en calderas son clasificado así:

Combustible sólido	{	Carbón bituminoso Desecho de madera de balsa Bagazo de caña de azúcar.
Combustible líquido	{	Diesel oil Fuel oil Kerosene
Combustible gaseoso	{	Gas licuado de petróleo (GLP) Gas natural

4.3.2 Situación relativa de las vías de combustión y agua.- Pueden ser calderas acuotubulares de tubos de acero y calderas con tubos de fuego de acero.

4.3.3. Presión de trabajo.- Según la presión de trabajo tenemos calderas de alta presión que son usadas cuando existe mucha demanda de vapor y en la que el vapor necesariamente debe ser recalentado. Estas calderas operan a presiones superiores a  $20 \text{ Kg/cm}^2$  y se utilizan generalmente en plantas eléctricas.

Las calderas de baja presión, son usadas en el campo industrial y generalmente operan con vapor saturado a presiones del orden de  $7 - 17 \text{ Kg/cm}^2$ .

En este grupo de calderas encontramos las calderas pirotubulares.

4.3.4 Agua de alimentación.- Esta debe ser tratada fundamentalmente para evitar los depósitos de lodo e incrustaciones, que dan lugar a la corrosión de las superficies internas y fallos por sobrecalentamiento, comprende 2 tipos:

- a) Calderas en que se utiliza el condensado como agua de alimentación, sólo se requiere la incorporación de pequeñas cantidades de agua cruda, para reemplazar la que sale del sistema en forma de condensado o por pérdida de vapor, esto implica, mínimo tratamiento de agua.

b) Y calderas que produce vapor para los procesos de trabajo, en la que llegan a necesitar agua de reposición en cantidades que varían de 90 a 100% del flujo total del agua de alimentación.

4.3.5 Tipo de vapor producido.- En la actualidad se utiliza calderas piro-tubulares sólo para producir vapor saturado y si se requiere vapor recalentado se usan del tipo acu-tubulares.

#### 4.4 SELECCION DE LA CALDERA

Una vez estudiada las características más importantes de las calderas, procedemos a la selección que se ajuste a las condiciones de capacidad, presión y espacio disponible para su instalación.

Se instalará un generador de vapor de capacidad de 80 C.C. que cumpla con los siguientes criterios:

- a) Sea un equipo completo totalmente ensamblado en la fábrica, con quemador de la misma marca de la caldera.
- b) Operación con combustible fluido (Diesel), tratando de tener una unidad de funcionamiento enteramente automática. Procurando máxima seguridad y alto rendimiento térmico.
- c) Tenga un margen de sobrecarga máximo de 100% arriba de su capacidad nominal.

- d) Las únicas conexiones que se necesitan para la operación son aquellas que conducen: 1) al suministro de agua, a la alimentación de combustible y a la corriente eléctrica, 2) a las líneas de vapor y a la tubería de retorno y 3) una chimenea de tiro para el desfogue de los gases.
- e) Sea un modelo de tipo estandarizado, ya que ofrecen alto rendimiento económico de operación posible, debido a su alta eficiencia de combustión (80%).
- f) Ocupe poco espacio de instalación con cimentación sencilla.
- g) Estabilidad en el servicio , sin requerir cambios rápidos de la carga.
- h) Que la unidad pueda generar vapor en pocos minutos.
- i) Suministro de agua de reposición de calidad óptima.
- j) Retorno de agua de condensado aproximadamente de 70%
- k) Como el vapor utilizado es exclusivamente para calentamiento, no es indispensable el uso de economizadores y sobrecalentadores.

Después de este estudio, el criterio de selección es como sigue:

La caldera será del tipo de paquete\* de tubos de fuego que, deberá tener una capacidad de 2.500 lb/h, produciendo vapor a 100 lb/pulg<sup>2</sup>, garantizando vapor con 99% de calidad.

Se montará 2 unidades para asegurar la operación y cumplir con las demandas requeridas, además esto facilitaría el mantenimiento de las unidades.

---

\*Conocida también con el nombre de generador de vapor tipo "compacto" que son unidades armada totalmente en la fábrica.

TABLA 4.2 Consumo de Combustibles en calderas

Potencia de Caldero (BHP)	50	60	70	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	
Producción de Vapor Lbs./hr.	1.725	2.070	2.415	2.760	3.450	4.313	5.175	6.900	8.625	10.350	12.075	13.800	17.250	20.700	24.150	27.600	
Consumo Máximo de Combustible a 80% de Eficiencia (G P H)	No. 2	15	18	21	24	30	37,5	45	60	74,5	89,5	104,5	119,5	149,5	179,5	210	239
	No. 6	14	16,5	19,5	22,5	28	35	42	56	69,5	83,5	97,5	111,5	139,5	167,5	196	223

Ref (13)



## C A P I T U L O V

### CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

En todo sistema de generación de vapor, conocemos que el agua es la materia prima utilizada para producir un fluido de trabajo denominado vapor. En cualquier aplicación, es necesario que éste fluido (vapor) sea producido permanentemente por la caldera, por tanto, se requiere que a ésta se le suministre constantemente agua de alimentación.

El sistema de agua de alimentación de una caldera básicamente se compone de:

- Tanque de agua de alimentación (en nuestro caso es de condensado al mismo tiempo).
- Equipo de bombeo.
- Válvulas de regulación del agua de alimentación.
- Dispositivos de control.

#### 5.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION

Como la caldera seleccionada es considerada de mediana capacidad el

tanque de agua de alimentación será al mismo tiempo de condensado\* logrando así elevar la temperatura del agua de reposición que esté necesitando el tanque para compensar las pérdidas que pudieren suscitarse en el sistema.

En la práctica, se recomienda que la capacidad del tanque de alimentación almacene una cantidad mínima de agua suficiente para sostener la evaporación en la caldera por lo menos durante 20 minutos.

Para hallar la reserva mínima de agua del tanque de alimentación, se debe considerar que para satisfacer la demanda de agua de un caballo caldera se requiere la evaporación de 34,5 lb/h de agua a 212°F a vapor a 212°F, o en otros términos equivale a la evaporación de 0.069 GPM ó 0,261 ltrs/min.

En nuestro cálculo, como la capacidad de la caldera es de 80 c.c.

Rm = Reserva mínima del tanque de agua de alimentación

$$Rm = 80 \text{ c.c.} \times \frac{0,261 \text{ litros}}{\text{min} \times \text{c.c.}} \times 20 \text{ min.}$$

$$Rm = 417.6 \text{ litros}$$

---

\* Vapor transformado en agua

Por otra parte, se recomienda que el tanque de alimentación se encuentre solamente con un nivel de agua que cubra el 70% de la capacidad.

Esto significa que la capacidad total del tanque de alimentación deberá ser determinada conforme a la siguiente relación.

Ct = Capacidad total del tanque de agua de alimentación

$$C_t = \frac{R_m}{0,7}$$

$$C_t = \frac{417,6 \text{ litros}}{0,7} = 696,5 \text{ litros } \text{ó} \text{ } 157,5 \text{ gal.}$$

Una vez encontrada la capacidad del tanque de alimentación que es 157,5 galones, buscamos con éste valor en la Tabla (5.1) dado por Cleaver Brooks y seleccionamos las dimensiones correspondiente a una capacidad de 180 gal. que es el valor más próximo superior. Ver fig (5.1).

TABLA 5.1

Capacidad del Tanque	Código	B	C	E	F	G	H	J	K	M	N
	Galones	20	35	60	100	180	250	350	500	750	1000
Tamaño del tanque (pulg)	k	16	18	22	27	30	36	42	42	48	48
	AA	27	35	39	43	64	64	64	88	100	130
A		39	43	46	50	71	71	71	95	107	137
B		38	40	60	78	78	78	77	78	85	85
C		29	30	48	64	62	59	55	56	60	60
D		35	37	55	74	73	74	72	73	80	80
E		34	34	34	34	56	56	56	78	90	90
T		42	42	45	44	37	43	48	48	54	54
V		1	2	2	3	4	4	4	4	4	4
G		17	17	18	18	15	18	20	20	23	23

Ref 15

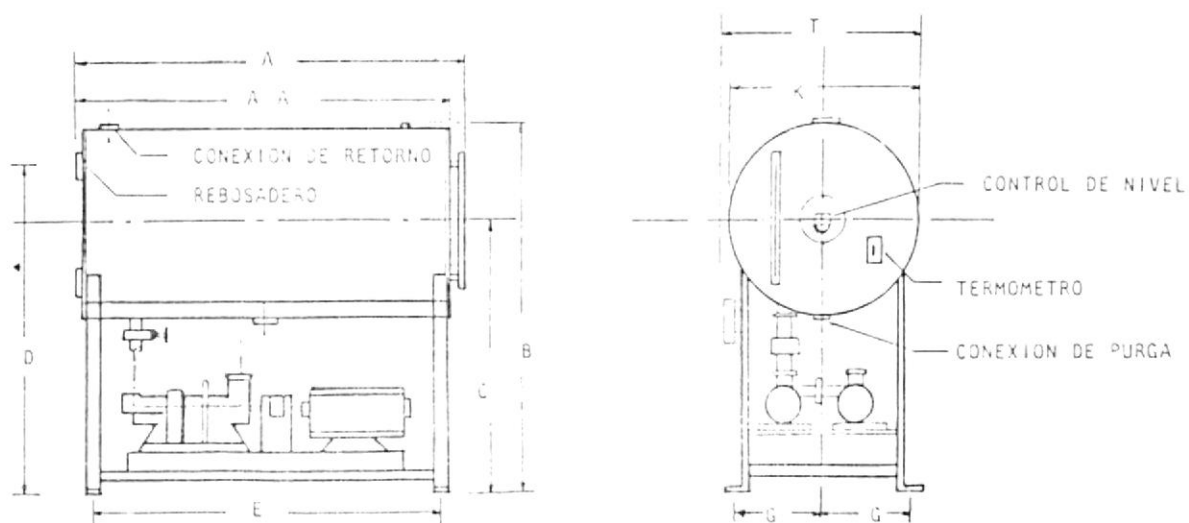


FIGURA 5.1 DIMENSIONES DEL TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION

## 5.2. CALCULO Y SELECCION DE LA BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION

Básicamente los datos que se requieren en la selección de bomba son:

### 5.2.1 NATURALEZA DEL LIQUIDO QUE HABRA DE BOMBEARSE.

a) Como medida de seguridad la temperatura del agua de alimentación debe ser por lo menos  $20^{\circ}\text{C}$  menor que la temperatura de evaporación a la presión existente en el tanque de alimentación. Temperaturas superiores podrían ocasionar problemas de cavitación en la bombas de alimentación.

Así la temperatura de bombeo es de  $158^{\circ}\text{F}$  ( $70^{\circ}\text{C}$ )

b) La presión del vapor del líquido a la temperatura de bombeo ( $70^{\circ}\text{C}$ ) se la obtiene en las tablas de vapor.

Temperatura de bombeo =  $70^{\circ}\text{C}$

Presión del vapor =  $4,439 \text{ lbs/pulg}^2$

c) El peso específico del agua de alimentación a  $70^{\circ}\text{C}$  es de 0.978.

d) La viscosidad a  $70^{\circ}\text{C}$  ( $158^{\circ}\text{F}$ ) y presión atmosférica son obtenidas en tablas y su valor es:

Viscosidad dinámica =  $222 \times 10^{-6} \frac{\text{lb}}{\text{pies seg.}}$

Viscosidad cinemática =  $4,4 \times 10^{-6} \frac{\text{pies}^2}{\text{seg.}}$

### 5.2.2 TIPOS DE OPERACION.-

Uno de los primeros pasos que se debe tomar en cuenta para seleccionar una bomba es definir si la bomba operará en forma continúa o intermitente. Básicamente, ésta selección depende del tipo de caldera utilizada (de tubos de agua o de fuego).

Como la caldera seleccionada es de tubos de fuego, la cual está provista de un interruptor-flotador que hace que la bomba de alimentación de agua arranque o pare intermitentemente de acuerdo a niveles predeterminados de agua en la caldera. En este sistema la tubería de descarga de la bomba es directa y sin ninguna restricción o control de flujo.

Para este tipo de operación generalmente se utiliza la bomba tipo turbina regenerativa.

### 5.2.3 CAPACIDAD

Debido a que las bombas se seleccionan con un porcentaje en exceso del agua evaporada de la caldera a ser alimentada, el fabricante de las calderas CLEAVER BROOKS proporciona este valor de acuerdo al tipo de bomba utilizada.

- Bomba de turbina            1,5 a 2,0
- Bombas centrífugas        1,10 a 1,15

Entonces de acuerdo a lo antedicho el valor seleccionado para exceso del agua evaporada en bomba tipo turbina es de 2,0

Como para satisfacer la demanda de agua de un caballo caldera se requiere 0.069 GPM ó 0,261 ltrs/min. Ref (15)

Q = Capacidad actual de bombeo recomendada en operación.

$$Q = 80 \text{ c.c.} \times 0,069 \frac{\text{GPM}}{\text{c.c.}} \times 2$$

$$Q = 11,04 \text{ GPM}$$

Revisando la tabla de selección de bomba para calderas CLEAVER BROOKS tenemos que para 80 c.c. con una presión de descarga de 100 lbs/plg<sup>2</sup> la capacidad es de 11.7 GPM. El margen añadido a este flujo máximo es para cubrir las oscilaciones de la caldera y la reducción eventual por el desgaste de la bomba.

#### 5.2.4 CONDICIONES DE SUCCION

a) Primeramente debemos especificar si se trata de una elevación de succión o de carga de succión. En el diagrama del sistema de alimentación notamos que la diferencia de elevación entre el nivel líquido de succión y la línea de centro de la bomba es la "Carga estática de succión", puesto que esta diferencia de elevación es de un valor positivo, es decir el nivel del líquido de succión está arriba de la línea de centro de la bomba.

- b) En el bombeo de líquidos la presión en cualquier punto en la línea de succión nunca deberá reducirse a la presión de vapor del líquido ya que debemos mantener el fluido en estado líquido para un óptimo funcionamiento de la bomba, además esto evitaría los graves problemas ocasionados por la cavitación\*.

Con éstos dos puntos estudiados, analizamos el NPSH (carga neta de succión positiva) que se define como la altura total absoluta de succión en pies (o en metros), corregida al eje del impulsor, menos la presión de vapor del líquido en pies absolutos.

La carga neta de succión positiva disponible (NPSHA) cuyo valor está en función del sistema a la instalación donde la bomba debe operar, se calcula con la siguiente fórmula:

Fórmula 5.1

$$NPSHA = \frac{(P_1 - P_v) 2,31}{Sp.gr.} + Z_1 - (H_{fs} + H_i)$$

$P_1$  = Presión de succión (atmosférica) = 14.69 lbs/pulg<sup>2</sup> abs  
(para Guayaquil)

$P_v$  = Presión de vapor a 158 °F = 4,439 lbs/pulg abs

Sp. gr = Peso específico a 158 °F = 0.978

\*La Cavitación se produce cuando el líquido se vaporiza afectando la presión, capacidad y eficiencia de la bomba, produciendo perforaciones en las aletas del impulsor.

$Z_1$  = Altura de succión (pies)

Hfs = Fricción en la succión

Hi = Pérdida a la entrada

Ref 12

Para 11.7 GPM y tuberías de 1 1/4 pulg de diámetro en la TABLA 5.2 tenemos que

$$Hfs = 2,37 \text{ pies}/100 \text{ pies} + h \text{ accesorios} = \frac{2.37 Z_1 + 0.99}{100}$$

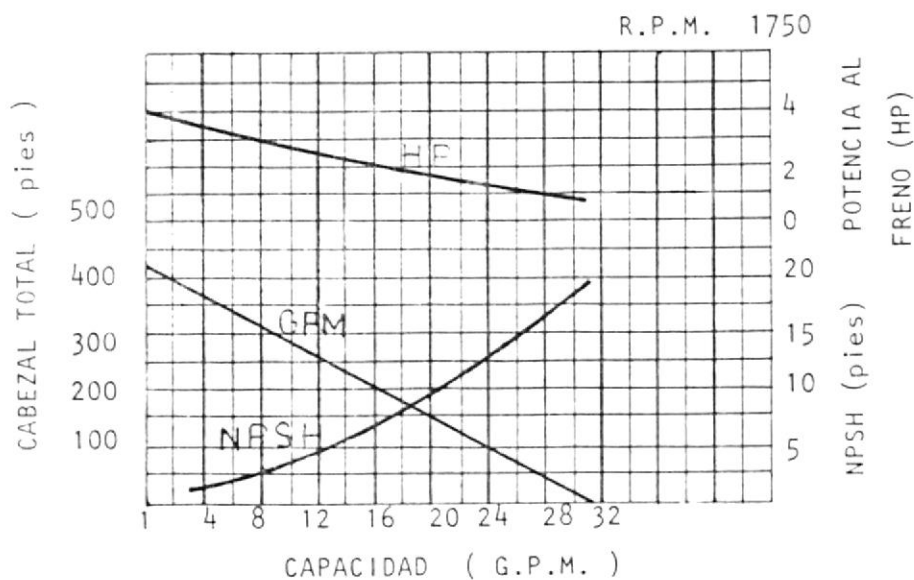
$$Hi = 0.072 \text{ pies}$$

Reemplazando los valores

$$NPSHA = \frac{(14.69 - 4.439) 2.31 + Z_1}{0.978} - \frac{(2.37 Z_1 + 0.99 + 0.072)}{100}$$

FIGURA No. 5.2

MODELO 14T TAMAÑO 1 1/4 x 1 1/4



Tenemos que la diferencia de altura entre el nivel mínimo del tanque de agua de alimentación con respecto al centro de la bomba, es de

$$Z_1 = 35 \text{ pulg (2.92 pies)}.$$

Reemplazando en la fórmula

$$\text{NPSHA} = \frac{(14.69 - 4.439) 2.31 + 2.92}{0.978} - \frac{(2.37 \times 2.92 + 0.99 + 0.072)}{100}$$

$$\text{NPSHA} = 26 \text{ Pies}$$

En la Fig (5.2), tenemos que el valor de NPSHR (carga neta de succión positiva requerida) que es una función del diseño de la bomba, y representa el margen mínimo requerido entre la carga de succión y la presión de vapor a una capacidad determinada, es de 4 pies para una capacidad de 11.7 GPM.

Entonces el sistema es muy confiable y no se producirá cavitación. Además la fricción en éste caso es relativamente muy pequeña y produce poca variación sobre el NPSHA.

#### 5.2.5 CONDICIONES DE DESCARGA

La bomba alimentadora de agua a la caldera debe siempre desarrollar una presión superior a la presión de trabajo de la caldera.

Este exceso de presión sirve para vencer: las pérdidas por fricción en la tubería de descarga (válvulas, uniones y tuberías) y la diferencia de altura entre el nivel del agua en la caldera y la

localización de la bomba.

Presión desarrollada por la bomba =  $100 \text{ lbs/pulg}^2$  (presión de operación en la caldera) +  $25 \text{ lbs/pulg}^2$

Presión desarrollada por la bomba =  $125 \text{ lbs/pulg}^2$

Para calcular la presión que desarrolla la bomba a la salida de la misma en pies, usamos a partir de la ecuación de Bernoulli la siguiente relación:

$$\text{TDH} = \frac{(P_2 - P_1) 2.31}{\text{Sp. gr.}} - Z' + \text{Hts} + \text{Htd} \quad \text{Fórmula 5.2}$$

TDH = Altura total dinámica de descarga.

$P_1$  = Presión de succión (atmosférica).

$P_2$  = Presión máxima del colector de la caldera.

$Z'$  = Suma algebraica de la carga estática del nivel de abastecimiento al de descarga.

Hts = Pérdidas totales de succión.

Htd = Pérdidas totales de descarga.

Ref (7)

Las pérdidas totales de succión y descarga son calculados considerando las pérdidas por: entrada y salida, accesorios (válvulas y uniones) y por las pérdidas producidas por fricción en las tuberías. Estos valores son:



$$H_{ts} = 1,00 \text{ m} = 3,28 \text{ pies}$$

$$H_{td} = 1,23 \text{ m} = 4,03 \text{ pies}$$

Entonces si  $P_1 = P$  atmosférica tenemos

$$TDH = \frac{(125 \text{ lb/pulg}^2) 2,31 - 2,62 + 3,28 + 4,03}{0.978}$$

$$TDH = 300 \text{ pies}$$

#### 5.2.6 CALCULO DE LA POTENCIA

La potencia de entrada de la bomba o potencia al eje (brake horse power), es la potencia entregada al eje de la bomba, y se expresa por:

$$BHP = \frac{Q \times TDH \times Sp.gr.}{3960 \times \text{eff.}} \quad \text{Fórmula 5.3}$$

Datos de la bomba elegida:

Marca	AURORA PUMP
Modelo	I4T
Tamaño	1 1/4 x 1 1/4 pulg
Eficiencia	35%
NPSHR	4
R.P.M.	1750 R.P.M.

Ref (7)

Reemplazado los valores

$$\text{BHP} = \frac{11.7 \times 300 \times 0,978}{3960 \times 0,35} = 2,47 \text{ HP}$$

El tamaño del motor más cercano es de 3 HP

### 5.3 CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERIA DE AGUA DE ALIMENTACION

La instalación de tubería que conecta el circuito de agua de alimentación precisa atenciones especiales que de no tenerlas en cuenta podrán ocasionar graves problemas en el sistema. Por ésto, se debe señalar los siguientes criterios que son muy importantes en el circuito de alimentación.

- 1) Siempre las tuberías de aspiración como la de impulsión, deben ser de igual o de mayor diámetro que el que corresponde al diámetro de la entrada y salida del líquido de la bomba. Puesto que una tubería de menor diámetro podría dar como resultado una pérdida de rozamiento muy elevado.
- 2) Las curvas pronunciadas o bruscas deben ser evitadas en lo posible, ya que aumentan considerablemente la resistencia.
- 3) Las pérdidas de fricción se recomiendan que no sean mayores al 10% (o sea 10 pies por cada 100 pies). Asegurando así, que el rendimiento de la instalación sea plenamente satisfactorio.

Por conveniencia al circuito de tuberías del sistema de agua de alimentación puede clasificarse en 2 categorías, tomando como referencia la bomba de alimentación así:

5.3.1 TUBERIAS DE ASPIRACION.- Este tramo de tubería, es la parte más sensible. Debemos tomar tres puntos en consideración: sea lo más corta posible, bastante recta y evitar tramos de tubería de aspiración en posición horizontal para evitar la formación de bolsas de aire.

Como el NPSHA calculado (Párrafo 5.2.4) nos dió un valor tal que podamos escoger cualquier tamaño de tubería, entonces abusando de ésta seleccionamos el mínimo diámetro posible de tubería puesto que el costo de tubería se reduce.

Como el diámetro de la entrada de la bomba es de 1 1/4 pulg entonces la tubería de succión tendrá el mismo diámetro.

Tubería de succión = 1 1/4 pulg (1,3080 pulg diámetro interior)

5.3.2 TUBERIAS DE IMPULSION.- Es más sencillo su montaje, pero se tomarán en cuenta las siguientes precauciones:

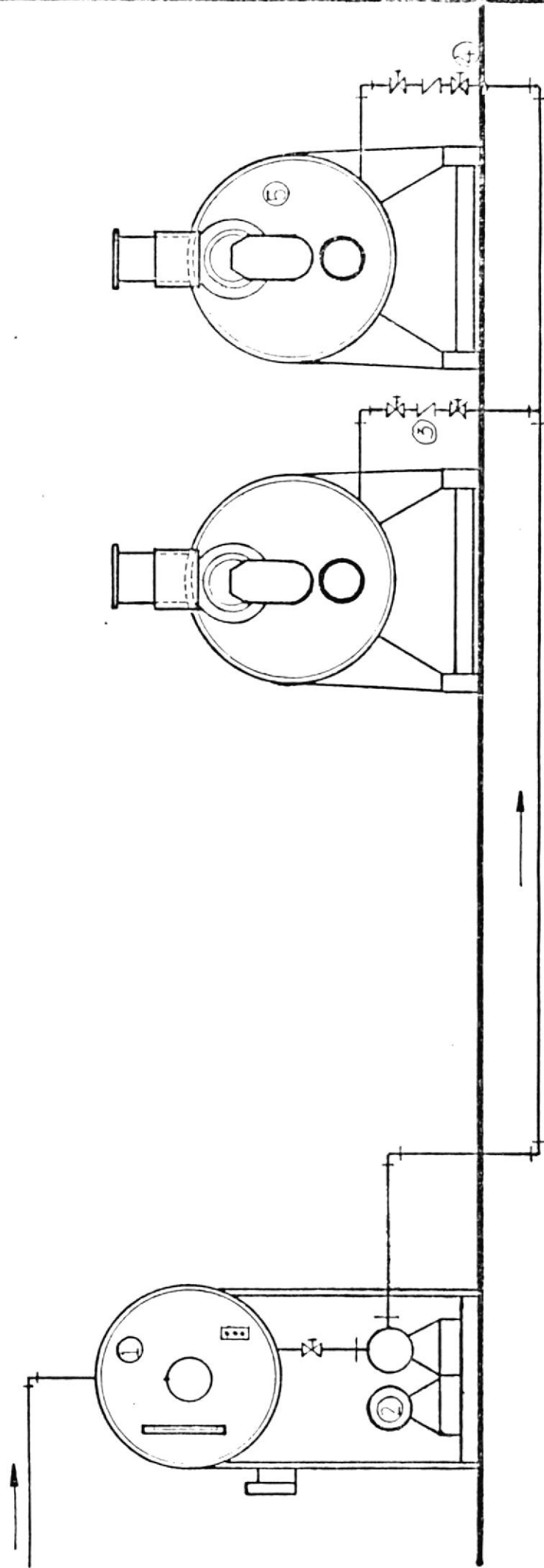
- 1) Se recomienda que la altura manométrica no pase de 30 mts. aproximadamente.
- 2) Se debe instalar una válvula de retención para evitar daños por circulación inversa en caso de falla inesperada del sistema. Esto se conoce como golpe de ariete.
- 3) Sobre la válvula de retención se debe instalar una válvula de compuerta que además de permitir la instalación de la válvula de seguridad, sirve para cebar y arrancar la bomba o durante el paro para inspección o reparación.

Así mismo la tubería de descarga tendrá un diámetro de 1 1/4 pulg. puesto que para tubería de acero tipo Schedule 40 en la tabla (5.3) nos da una pérdida de  $h_f = 2,37 \text{ ft}/100\text{ft}$  que se halla dentro del límite de las pérdidas recomendadas.

TABLA 5.2 PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS DE ACERO SCHEDULE 40 PARA AGUA

G.P.M.	3/4 pulg (0,824 I.D.)		1 pulg (1,049 I.D.)		1 1/4 pulg (1,3980 I.D.)		1 1/2 (1,6010 I.D.)		
	V (pies/seg)	$\frac{V^2}{2g}$	V	$\frac{V^2}{2g}$	V	$\frac{V^2}{2g}$	V	$\frac{V^2}{2g}$	
4	2.41	0.090	1.48	0.034	1.29	0.70	1.26	0.025	0.56
5	3.01	0.141	1.86	0.053	1.93	0.93	1.42	0.031	0.69
6	3.61	0.203	2.23	0.077	2.68	0.93	1.58	0.039	0.83
7	4.21	0.276	2.60	0.105	3.56	0.93	1.72	0.046	0.93
8	4.81	0.360	2.97	0.137	4.54	1.18	1.83	0.058	1.18
9	5.42	0.456	3.34	0.173	5.65	1.46	1.83	0.058	1.46
10	6.02	0.583	3.71	0.214	6.86	1.77	2.15	0.071	1.77
12	7.22	0.810	4.45	0.308	9.26	2.48	2.57	0.103	2.48
14	8.42	1.10	5.20	0.420	12.8	3.28	3.00	0.140	3.28
16	9.63	1.44	5.94	0.548	16.5	4.20	3.43	0.183	4.20
18	10.8	1.82	6.68	0.694	20.6	5.22	3.86	0.232	5.22
20	12.0	2.25	7.42	0.857	25.1	6.34	4.29	0.286	6.34
25	15.1	3.54	9.29	1.34	37.4	9.66	5.37	0.448	9.66
30	18.1	5.06	11.1	1.93	54.6	13.6	6.44	0.644	13.6
35			13.0	2.62	73.3	18.5	7.52	0.879	18.5
40			14.8	3.43	95.0	23.5	8.58	1.14	23.5
45			16.7	4.33	119	29.5	9.66	1.45	29.5
50			18.6	5.35	146	36.0	10.7	1.79	36.0
60			22.3	7.71	209	51.0	12.9	2.57	51.0
70			26.0	10.5	283	68.8	15.0	3.50	68.8
80						89.2	17.2	4.58	89.2
90						112	19.3	5.79	112
100						138	21.5	7.15	138
120						197	25.7	10.3	197
140						22.1			22.1

FIGURA 5.3 ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION



- 1 TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION
- 2 BOMBAS
- 3 VALVULA DE RETENCION
- 4 VALVULA DE COMPUERTA
- 5 CALDERAS

## C A P I T U L O VI

### SELECCION DEL COMBUSTIBLE Y ANALISIS DE LA COMBUSTION

Ya hecha la clasificación de los combustibles más utilizados en nuestro país (Sección 4,3), nos toca seleccionar el combustible que se utilizará en la planta lechera para generar vapor. Para esto es necesario conocer ciertas características y propiedades de los combustibles líquidos.

#### 6.1 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE LIQUIDO.

En el Ecuador se usa como combustibles líquidos: el DIESEL OIL (No.2) que es normalmente utilizado en casi todas las calderas industriales, y el FUEL OIL (No. 6) usado en las calderas de centrales térmicas. Ambos combustibles son derivados del petróleo, obtenidos por procesos de destilación fraccionada.

Las propiedades que son importantes para evaluar la calidad de los combustibles líquidos son:

- VISCOSIDAD.- Es la resistencia que opone un líquido a fluir. Es obtenida midiendo la presión necesaria para mantener una velocidad

dada en el líquido que pasa por un tubo capilar. Este valor se llama viscosidad dinámica.

En cambio la viscosidad cinemática se la obtiene dividiendo la viscosidad dinámica para la densidad. La viscosidad varía con los cambios de temperatura.

- GRAVEDAD ESPECIFICA O (A.P.I.).- Se define como la razón entre el peso de un determinado volumen de sustancia y el peso de un volumen equivalente de agua destilada a 60°F.

La gravedad específica también se la mide en grados A.P.I. (American Petroleum Institute). La conversión de grados A.P.I. es la siguiente:

$$\text{gr. esp. } 60/60^{\circ}\text{F} = \frac{141.5}{131.5 + \text{°A.P.I.}}$$

La indicación 60/60°F significa, que tanto el combustible como el agua se encuentran a la misma temperatura de comparación (60°F).

- PUNTO DE INFLAMACION.- Es la temperatura a la cual el combustible desprende vapores en cantidad suficiente para inflamarse. Este parámetro es muy importante porque fija la temperatura límite de peligro para el manejo del combustible.

- PUNTO DE COMBUSTION.- Es la mínima temperatura a la cual el combustible desprende suficiente cantidad de gases para continuar ardiendo, una vez que ésta se enciende. Esta temperatura es siempre mayor que la del punto de inflamación.

- PUNTO DE FLUIDEZ.- Conocido también como punto de derrame o de vertimiento. Es la temperatura a la cual el combustible deja de fluir.

- PODER CALORIFICO.- Conocido también como valor calorífico. Es la cantidad de calor que se desprende de la combustión completa de la unidad de masa del combustible. Existen 2 tipos de poder calorífico: poder calorífico superior y poder calorífico inferior.

El poder calorífico superior es siempre mayor, ya que, incluye la cantidad de calor latente de vaporización del vapor de agua contenido en los productos de combustión.

- PORCENTAJE DE AGUA Y SEDIMENTOS.- Es el contenido porcentual en peso de agua y sedimento que tiene un combustible. Cuando este porcentaje es elevado puede producirse fallas en los equipos del sistema de combustible.

- CONTENIDO DE AZUFRE Y VANADIO.- Se define como la cantidad porcentual en peso de azufre o vanadio en el combustible. Estos elementos provocan corrosión en el lado de fuego de las calderas y se encuentran presentes generalmente en combustibles pesados como el Fuel Oil (No.6)

Todas éstas propiedades están dadas en la Tabla (6.1)

TABLA 6.1 PROPIEDADES DEL DIESEL Y DEL FUEL OIL USADOS EN EL ECUADOR

PROPIEDADES	DIESEL OIL No.2 No. 2	FUEL OIL No. 6
Viscosidad SSU a 100°F	36 a 45	3714 a 3805
Gravedad específica	0,849 a 0,86	0,9503 a 0,9535
Grados A.P.I.	33 a 35	16,9 a 17,4
Punto de inflamación (°F)	180	285
Punto de combustión (°F)	--	--
Punto de fluidez (°F)	44	30
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	10.700	10.900
Porcentaje agua-sedim (%)	trazas	trazas
Contenido de azufre (%)	0,49	1,50
Contenido de vanadio (p.p.m.)	1,5	120
Contenido de cenizas (%)	--	0,04 a 0,15
Contenido de sodio (p.p.m.)	--	trazas

## 6.2 SELECCION DEL COMBUSTIBLE

Para hacer la selección debemos considerar los siguientes puntos por los que se prefiere un combustible líquido:

1. La caldera seleccionada es de tipo compacta, que son diseñadas para trabajar con combustible fluido, ya que el objetivo es que el combustible sea controlado con exactitud para la combustión, llegando a obtener un funcionamiento enteramente automático.
2. La utilización de combustible líquido mejora la capacidad de transferencia del calor.
3. Mejora la limpieza del funcionamiento.
4. Las dificultades de transporte y almacenamiento se reducen.

Dentro de la gama general de combustibles líquidos, en el Ecuador se utilizan DIESEL OIL (No. 2) y FUEL OIL o Bunker No.6

El combustible que se utiliza para la caldera tipo paquete de tubos de fuego de 80 c.c. será el DIESEL OIL (No.2) por los siguientes criterios:

1. Bajo costo de mantenimiento y reparación del equipo.
2. Se requiere de equipos no muy complicados, obteniéndose alta eficiencia de combustión.
3. Aunque el costo de adquisición es un poco más elevado, el costo de operación e inversión compensarán y muchas veces mejorarán el tiempo de amortización del equipo.

4. El combustible diesel, en nuestro país se utiliza en casi todas las instalaciones pequeñas y medianas.

### 6.3 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO PARA LA COMBUSTION

La combustión es la combinación de oxígeno con carbono, hidrógeno y azufre o sus compuesto con la formación de gases caliente, liberación de energía y emisión de luz.

La calidad de la combustión en las calderas es muy importante, puesto que de ésta depende:

1. El grado de eficiencia
2. El tipo de mantenimiento, y
3. La seguridad de operación

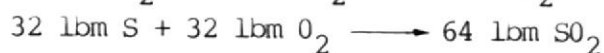
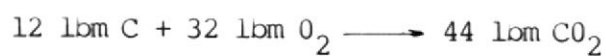
Para que se produzca la combustión es necesario la presencia de un elemento combustible (en nuestro caso diesel oil) y un elemento comburente (el aire).

#### 6.3.1 CALCULO DE LA CANTIDAD DE AIRE TEORICO.-

Para calcular la mínima cantidad de aire (teórico), que es necesario proporcionar para quemar totalmente 1 lbm de combustible (combustión estequiométrica), tenemos que para una muestra de diesel oil (No. 2) el porcentaje en peso es:

	C	=	86,50%
	H <sub>2</sub>	=	11,20%
	N <sub>2</sub>	=	0,29%
ANALISIS GRAVIMETRICO	S	=	0,94%
	O <sub>2</sub>	=	1,02%
	Ceniza	=	0,05%

Aplicando el concepto de mol (que 1 lb-mol es la cantidad de materia cuya masa en lbm es númericamente igual al peso molecular de una sustancia), analizamos la reacción para que se produzca una combustión completa.



Ref (24)

Entonces:

$$\frac{32 \text{ lbm O}_2}{12 \text{ lbm C}} = 2.67 \quad \frac{\text{lbm O}_2}{\text{lbm sustancia}}$$

$$\frac{32 \text{ lbm O}_2}{4 \text{ lbm H}_2} = 8 \quad \frac{\text{lbm O}_2}{\text{lbm sustancia}}$$

$$\frac{32 \text{ lbm O}_2}{32 \text{ lbm S}} = 1 \quad \frac{\text{lbm O}_2}{\text{lbm sustancia}}$$



Sustancia	$\frac{\text{lbm sust.}}{\text{lbm comb}}$	$\frac{\text{lbm O}_2}{\text{lbm sust.}}$	$\frac{\text{lbm O}_2}{\text{lbm comb.}}$
C	0,8650	2,67	2,309
H <sub>2</sub>	0,1120	8	0,896
S	0,0094	1	<u>0,009</u>
			3,214
Restando el O <sub>2</sub> que hay en el combustible			-0,0102
			<u>3,204</u>

Para efecto de cálculo podemos considerar que el aire está compuesto así:

$$1 \text{ lbm O}_2 + 3,31 \text{ lbm N}_2 = 4,31 \text{ lbm aire}$$

Entonces, la cantidad teórica de aire requerido para una combustión se la obtiene multiplicando:

$$\left( 3,204 \frac{\text{lbm O}_2}{\text{lbm comb.}} \right) \times \left( 4,31 \frac{\text{lbm aire}}{\text{lbm O}_2} \right) = 13,83 \frac{\text{lbm aire}}{\text{lbm comb.}}$$

Es decir se necesita 13,83 lbm aire para la combustión completa del diesel, sin embargo en la práctica, un exceso de aire debe añadirse para obtener una combustión completa real.

### 6.3.2 CALCULO DE LA CANTIDAD DE AIRE REAL.-

El porcentaje de exceso de aire real puede ser obtenido utilizando un análisis basado en la determinación del contenido volumétrico de

los productos de combustión, el cual se obtiene por el analizador "ORSAT" que nos da el volumen de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_2$ . Este volumen es medido después que el vapor de agua producido por la combustión del hidrógeno en el combustible ha sido condensado.

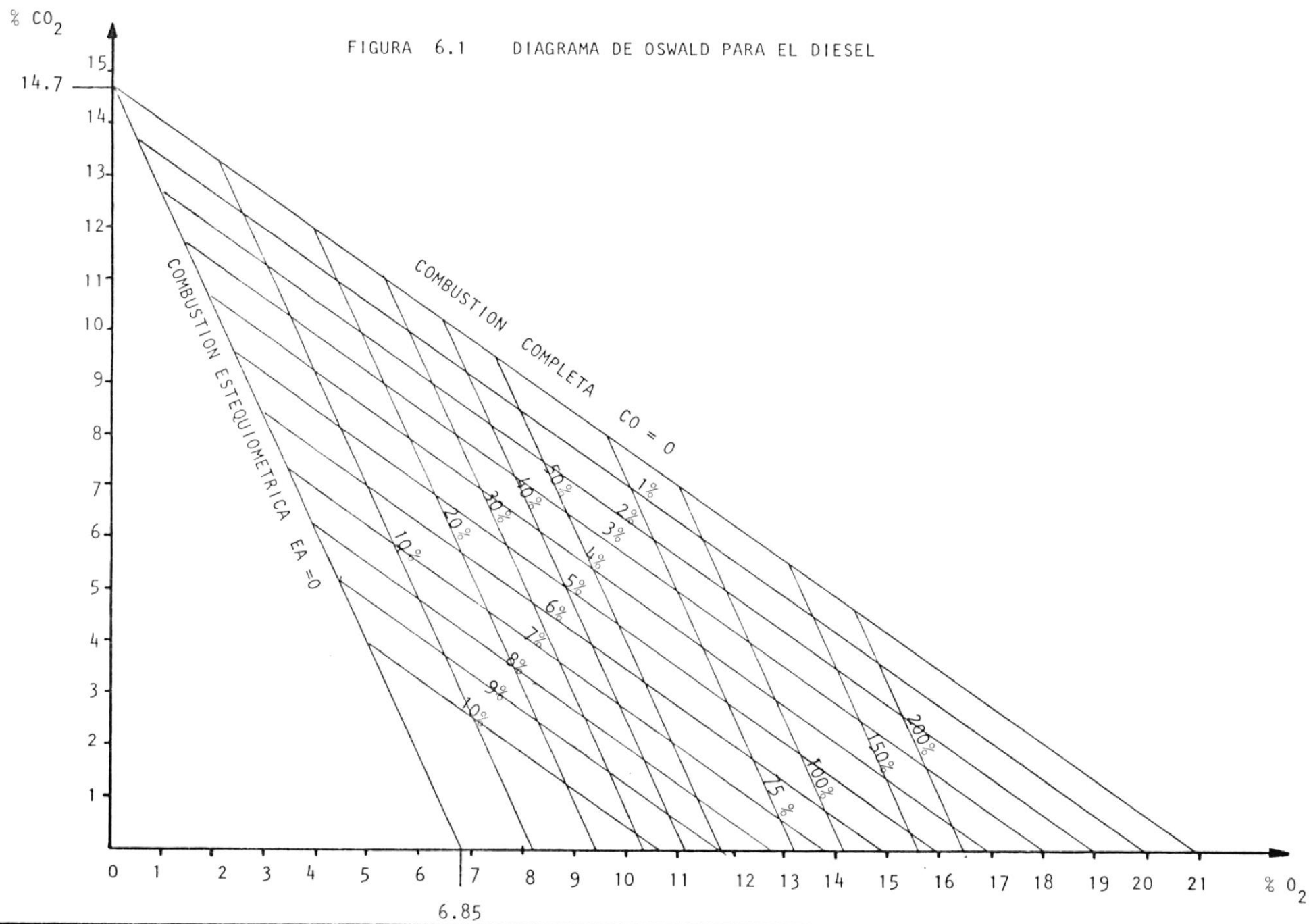
La firma Cleaver Brooks indica que el nivel óptimo de %  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) para calderas tipo paquete de tubo de fuego es de 12,8%. En el diagrama de OSWALD para combustible diesel oil (No. 2), fig. (6.1) se determina que para obtener una combustión completa el valor de  $\text{O}_2$  es de 2,7% y el exceso de aire es de 15%.

Con estos valores aplicaremos la siguiente fórmula para obtener la cantidad de aire real requerido para la combustión completa de diesel.

$$\text{Aire real} = \text{Aire teórico} \left( 1 + \frac{\% \text{ EA}}{100} \right) \quad \text{Ref (24)}$$

$$\text{Aire Real} = 13,83 \left( 1 + \frac{15}{100} \right) = 15,9 \frac{\text{lbm aire}}{\text{lbm comb.}}$$

FIGURA 6.1 DIAGRAMA DE OSWALD PARA EL DIESEL



En la práctica, el aspecto de la llama en el hogar y la apariencia de los gases en la chimenea, son indicativos de la calidad de la combustión. En la Tabla (6.2) observamos estos detalles.

COLOR DE LA LLAMA	COLOR DEL HUMO DE ESCAPE	COMBUSTION
Rojizo oscuro	Negro	Todo el carbono no alcanza a quemarse para formar $\text{CO}$ . Mezcla rica (% EA reducido)
Anaranjado	--	Todo el carbono se quema hasta formar $\text{CO}$ . Mezcla ligeramente rica.
Amarillo dorado	Café claro semitransparente (punto de humo)	Todo el carbono se quema hasta formar $\text{CO}_2$ . Mezcla estequiométrica (%EA correcto)
Blanco	Incoloros o blanco	Presencia del exceso de aire mayor que el necesario. Mezcla pobre.

TABLA 6.2 Aspecto de la llama en el hogar y de los gases de la chimenea como indicativo de la proporción del exceso de aire.

#### 6.4 EFICIENCIA DE LA COMBUSTION

La clave para mejorar la combustión está en lograr una relación aire/combustible correcta. Es importante señalar que el aumentar demasiado el exceso de aire puede perjudicar la eficiencia de la combustión, puesto que, disminuye la temperatura de la llama y sube la cantidad de productos de combustión. El primer efecto significa menor transferencia de calor y el segundo mayores pérdidas de calor en los gases de escape.

Así mismo, a falta de exceso de aire, se efectuará una combustión incompleta, produciendo una pérdida de calor útil (10.100 BTU/lbm de carbono). Una pérdida mayor de calor, se producirá si la cantidad de aire suministrado es disminuído en tal forma que el oxígeno no alcance a oxidar al carbono hasta CO (monóxido de carbono).

Aunque, tanto un exceso de aire elevado o muy deficiente perjudica a la eficiencia de la combustión vale más pecar ligeramente por exceso que por defecto, puesto que lo que se quiere es que exista una combustión completa.

##### 6.4.1 REQUISITOS PARA UNA COMBUSTION EFICIENTE.-

- a) El combustible debe ser totalmente atomizado.
- b) El aire inyectado debe mezclarse íntimamente con el combustible atomizado.

- c) El tiempo disponible para la combustión de la gotita más grande debe ser suficiente para que la combustión sea completada antes que la gotita entre en contacto con una superficie fría o por radiación.
- d) La temperatura del hogar deberá estar relacionada con el tiempo disponible arriba indicado.
- e) Alcanzar una combustión óptima, procurando que la suma de las pérdidas por combustión incompleta y gases de escape sea mínima. La Cleaver Brooks hace las siguientes recomendaciones para una combustión eficiente:

- Se debe tener un control constante y rutinario del exceso de aire, analizando el %  $\text{CO}_2$  de los gases de escape necesarios para obtener una combustión eficiente.
- Un estricto control de los gases de escape, procurando que la temperatura de ésta no sobrepase los  $65^\circ\text{C}$  sobre la temperatura del vapor generado.

#### 6.4.2 DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTION

Tomando en consideración que la temperatura de los gases no debe sobrepasar los  $65^\circ\text{C}$  sobre la temperatura del vapor generado.

Entonces:

$T_{mg}$  = Temperatura mínima de los gases de escape

$T_{mg} = T \text{ vapor generado } (^{\circ}\text{C}) + 65^{\circ}\text{C}$

$T_{mg} = 170^{\circ}\text{C} + 65^{\circ}\text{C} = 235^{\circ}\text{C}$

Con este valor y tomando un 15% de exceso de aire, tenemos que en la tabla (6.3) nos da una eficiencia de combustión de 83.6%

TABLA (6.3) Eficiencia de Combustión

TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE ( $^{\circ}\text{C}$ )

% DE EXCESO DE AIRE	93	121	149	177	204	232	260	288	316	343	371
5.	89.8	88.7	87.6	86.5	85.5	84.4	83.3	82.2	81.2	80.1	79.0
10.	89.6	88.5	87.3	86.2	85.1	84.0	82.9	81.7	80.6	79.5	78.4
15.	89.4	88.2	87.1	85.9	84.7	83.6	82.4	81.2	80.1	78.9	77.7
20.	89.2	88.0	86.8	85.6	84.4	83.2	81.9	80.7	79.5	78.3	77.1
25.	89.0	87.8	86.5	85.3	84.0	82.8	81.5	80.2	79.0	77.7	76.5
30.	88.9	87.6	86.3	85.0	83.6	82.3	81.0	79.7	78.4	77.1	75.8
35.	88.7	87.3	86.0	84.6	83.3	81.9	80.6	79.2	77.9	76.5	75.2
40.	88.5	87.1	85.7	84.3	82.9	81.5	80.1	78.7	77.4	76.0	74.6
45.	88.3	86.9	85.4	84.0	82.6	81.1	79.7	78.2	76.8	75.4	73.9
50.	88.1	86.7	85.2	83.7	82.2	80.7	79.2	77.8	76.3	74.8	73.3
55.	88.0	86.4	84.9	83.4	81.8	80.3	78.8	77.3	75.7	74.2	72.7
60.	87.8	86.2	84.6	83.1	81.5	79.9	78.3	76.8	75.2	73.6	72.0
65.	87.6	86.0	84.4	82.7	81.1	79.5	77.9	76.3	74.6	73.0	71.4
70.	87.4	85.7	84.1	82.4	80.8	79.1	77.4	75.8	74.1	72.4	70.8
75.	87.2	85.5	83.8	82.1	80.4	78.7	77.0	75.3	73.6	71.8	70.1
80.	87.0	85.3	83.5	81.8	80.0	78.3	76.5	74.8	73.0	71.3	69.5
85.	86.9	85.1	83.3	81.5	79.7	77.9	76.1	74.3	72.5	70.7	68.9
90.	86.7	84.8	83.0	81.2	79.3	77.5	75.6	73.8	71.9	70.1	68.2
95.	86.5	84.6	82.7	80.8	78.9	77.1	75.2	73.3	71.4	69.5	67.6
100.	86.3	84.4	82.5	80.5	78.6	76.6	74.7	72.8	70.8	68.9	67.0

Ref (2)



## C A P I T U L O VII

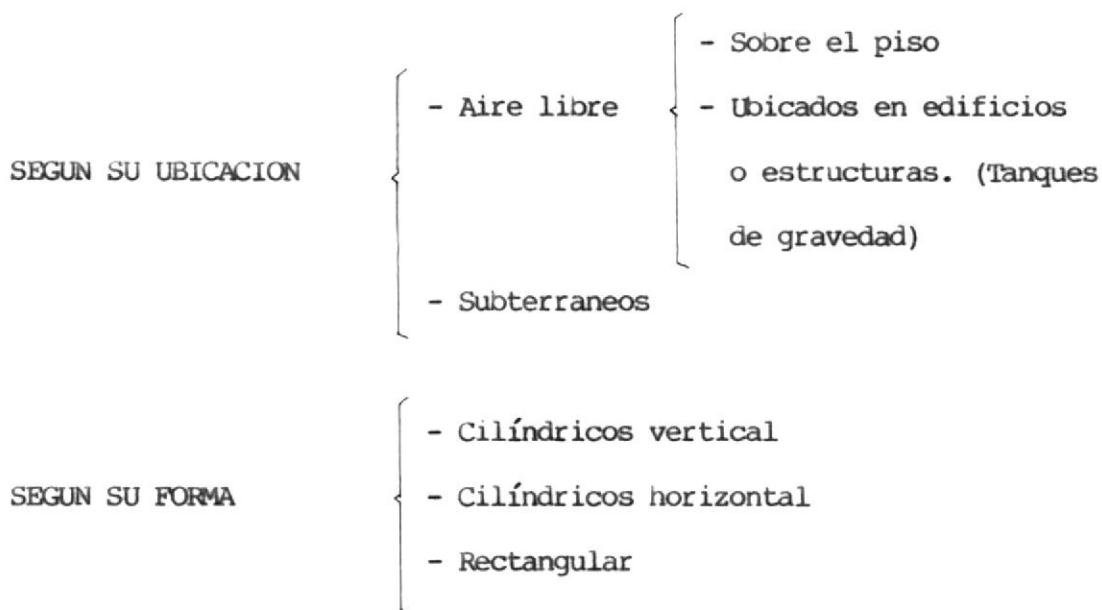
### CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE

El sistema de combustible es un conjunto de elementos dispuestos de tal manera que deban proveer continúa y dosificadamente de combustible a las calderas. Los componentes principales son:

- Tanque y tuberías de combustible
- Bomba de alimentación de combustible
- Quemador
- Accesorios

#### 7.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE EN BASE AL CONSUMO DIARIO DE LA CALDERA

En las plantas industriales se observan diferentes tipos de tanques para combustibles, pudiendo clasificarlos de la siguiente manera.



Los tanques de combustibles serán construídos de acero. Se contará con un tanque de reserva y un tanque de servicio diario.

#### 7.1.1 TANQUE DE RESERVA DE COMBUSTIBLE

Se dispondrá de un tanque de reserva que tenga una capacidad de almacenamiento tal que abastezca de combustible mínimo durante 15 días de funcionamiento de la caldera.

Se construirá un tanque subteraneo, de tal forma que la parte superior del tanque se encuentre bajo el nivel de la tubería conectada a los mismos. Debe estar cubierto por no menos de 1 pie de tierra sobre la parte superior del tanque, sobre la cual debe construirse una losa de hormigón armado de no menos de 4 pulgadas de espesor.

Su capacidad será de

$$3000 \frac{\text{ltrs}}{\text{día}} \times 15 \text{ días} = 45.000 \text{ litros}$$

#### 7.1.2. TANQUE DE SERVICIO DIARIO

Será un tanque de gravedad\* de forma cilíndrico horizontal, que deberá tener como mínimo una capacidad de almacenamiento tal que el combustible abastezca durante 24 horas de operación de las calderas.

El tanque de combustible deberá ubicarse tan cerca como sea posible de las calderas.

En la tabla (7.1) nos da la capacidad mínima de almacenamiento para calderas compactas de tubos de fuego con respecto a los caballos caldera. Para 80 CC tenemos que la capacidad mínima de almacenamiento es de 3000 litros.

Con éste valor pasamos a la tabla (7.2) y obtenemos los valores siguientes

---

\*Son tanques instalados a una altura superior a la que se encuentran los quemadores de los calderos.

Diámetro del tanque = 1060 mm

Longitud del tanque = 3060 mm

Calibre de lámina = 1,945 mm (calibre 14)

TABLA 7.1 Capacidad mínima de almacenamiento diario de combustible con respecto a los C.C.

LITROS	GALONES AMERICANO	CABALLOS CALDERA
1500	396.3	hasta 50
2000	528.4	60 - 70
3000	792.6	80 - 100
4000	1056.8	125
5150	1360.6	150
6000	1585.2	200
7300	1928.7	250
10000	2642.0	300

Ref (25)

TABLA 7.2 Especificaciones técnicas y dimensiones de tanques de combustible líquido.

CAPACIDAD (ltrs)	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	CALIBRE DE LAMINA
1500	870	2440	14
2000	960	2740	14
3000	1060	3060	14
4000	1250	3350	12
5150	1350	3360	12
6000	1350	4270	12
7300	1440	4570	12
10000	1540	5490	3.2 mm (1/8 ")

Ref (25)

CALIBRE 14 = 1.945 mm

CALIBRE 12 = 2.723 mm

El tanque de combustible será instalado dentro de la sala de calderas y se montará sobre 2 bases de bloques de hormigón armado de 7" de espesor aplicados directamente al piso.

## 7.2 CALCULO Y SELECCION DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE

Cada caldera viene provista de una bomba de combustible tipo rotativa de desplazamiento positivo, de funcionamiento sencillo, compacta, de poco peso y con una eficiencia mecánica de 75%.

### 7.2.1 DETERMINACION DEL CAUDAL

El caudal de la bomba dependerá de los caballos caldera. Como dato de referencia proporcionado por Cleaver Books, el consumo por C.C. dado en galones americanos por hora (GPH) para calderas de tubos de fuego tipo compactas que utilizan Diesel oil como combustible es de 0.295 GPH/C.C., considerando ésta caldera trabaja a una eficiencia de 80%.

$$\text{CONSUMO DE COMBUSTIBLE} = 80 \text{ C.C.} \times \frac{0.295 \text{ GPH}}{\text{C.C.}} = 23.6 \text{ GPH (0,393 GPM)}$$

Como el caldero tendrá un margen de sobrecarga de 100% arriba de su capacidad nominal, entonces el caudal de la bomba será

$$\text{CAUDAL} = 23.6 \text{ GPH} \times 2 = 47.2 \text{ GPH}$$

Se seleccionará una bomba cuyo caudal se ajuste a 60 GPH (1 GPM)

### 7.2.2 ALTURA TOTAL DINAMICA DE DESCARGA

Para calcular la altura total dinámica de descarga se utiliza la fórmula (5.2), pero se debe tomar en consideración la presión de atomización en el quemador.

$$TDH = \frac{(P_2 - P_1) 2.31}{sp.gr.} + P \text{ atomización} + Z' + (H_{ts} + H_{td})$$

Como  $P_1 = P_2 = P$  atmosférica

$$TDH = P \text{ atomización} + Z' + H_{ts} + H_{td}$$

Para calderas de 80 c.c. que consumen diesel oil la presión de atomización es de 100 lb/pulg<sup>2</sup>.

$$P \text{ atomización} = 100 \text{ lb/pulg}^2 = 271,76 \text{ pies}$$

$$Z' = 0,80 \text{ m (2.6 pies)}$$

$$H_{ts} = H \text{ tubería} + H \text{ accesorios} = 1,67 \text{ pies} + 0,12 \text{ pies} = 1,79 \text{ pies}$$

$$H_{td} = H \text{ tubería} + H \text{ accesorios} = 1,90 \text{ pies} + 0,04 \text{ pies} = 1,94 \text{ pies}$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$TDH = 271,76 \text{ pies} + 2,6 \text{ pies} + 1,79 \text{ pies} + 1,94 \text{ pies}$$

$$TDH = 278 \text{ pies}$$

### 7.2.3 POTENCIA REQUERIDA

Para calcular la potencia requerida por la bomba de combustible aplicamos la fórmula (5.3)

$$\text{BHP} = \frac{Q \times \text{TDH} \times \text{Sp. gr.}}{3960 \times \text{eff.}} = \frac{1 \text{ GPM} \times 278 \text{ pies} \times 0,85}{3960 \times 0,75}$$

$$\text{BHP} = 0.08 \text{ HP}$$

Seleccionamos el motor mas próximo que sería de 1/4 HP

### 7.3. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERIA DE COMBUSTIBLE

En la figura (7.1) tenemos el recorrido de la tubería del sistema de alimentación de combustible, comprendido por el circuito tanque-quemador -tanque. Osea que tomaremos como consideración adicional que el sistema es de 2 tuberías, una de suministro y otra de retorno de combustible al tanque.

$\nu$  = Viscosidad cinemática para el diesel a temperatura de 37.8 °C

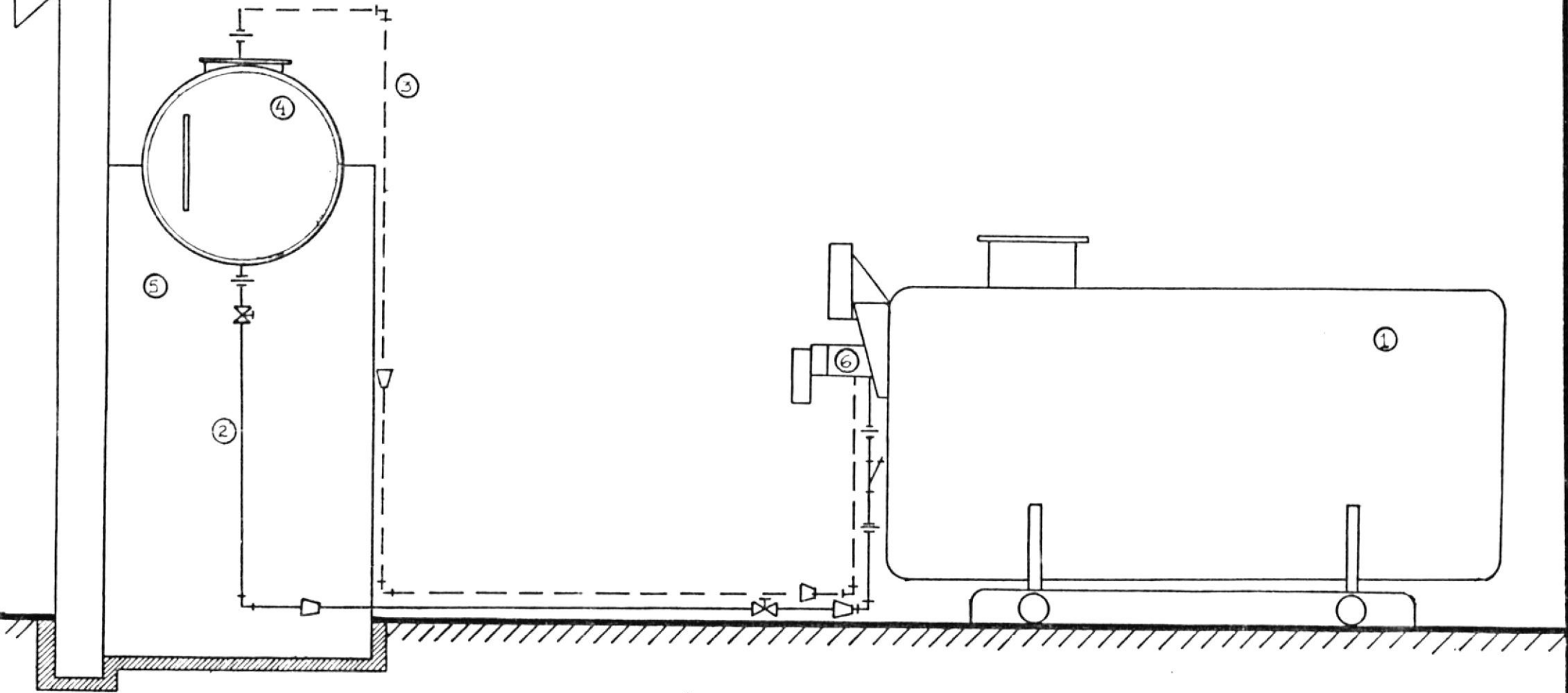
$$\nu = 4.3 \text{ Centistokes} = 4.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

Para calcular la velocidad del fluido

$$V = \frac{Q_t}{A} = \frac{4 Q_t}{\pi D^2} \quad \text{Ref (6)}$$

FIGURA 7.1

ESQUEMA DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE  
HACIA LA CALDERA



- 1 CALDERA
- 2 TUBERIA DE SUMINISTRO
- 3 TUBERIA DE RETORNO

- 4 TANQUE DE SERVICIO DIARIO DE COMBUSTIBLE
- 5 BASES DE BLOQUES DE HORMIGON
- 6 BOMBA - QUEMADOR

## C A P I T U L O   V I I I

CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS DE DISTRIBUCION DE VAPOR Y DE RETORNO DE CONDENSADO.

En la planta lechera uno de los rubros fuertes existentes es el sistema de generación de vapor, ésto lleva a tomar medidas técnicas ingenieriles para optimizar los costos, cumpliendo con las condiciones exigidas en el diseño y cálculo de distribución y retorno de condensado de la planta.

El vapor será utilizado como medio de calentamiento en el proceso y debe reunir las siguientes condiciones:

- a. - Se generará vapor saturado, ya que el proceso y los equipos de control de temperatura y presión están diseñados para permitir el uso de ésta calidad de vapor.
- b. - Como se instalará un sistema de recuperación de condensado, se debe aplicar ajustes que compensen con un mínimo de pérdidas de energía.
- c. - Presiones y temperaturas estables: ésto es muy importante para el pasteurizador de leche.

d. - El sistema debe ser confiable: Aunque un paro del sistema no traería pérdidas del producto debido a su calidad, ocasionaría pérdidas económicas mayores, puesto que la leche es un alimento de consumo diario y que debe ser distribuido al mercadeo entre ciertas horas del día.

e. - Debe existir estabilidad en el balance entre el vapor suministrado y el vapor utilizado.

f. - Economía.

#### 8.1 CONDICION DE DISEÑO DE LAS TUBERIAS DE DISTRIBUCION DE VAPOR

El sistema de distribución de vapor constituye el medio de enlace entre el generador de vapor y los diferentes puntos de consumo.

Para el diseño de la tuberías de distribución de vapor se requiere conocer las siguientes condiciones.

i. - El aire y la humedad son dos elementos indeseables en el vapor por las siguientes causas: a) El aire contenido en el vapor hace disminuir su temperatura; y b) La humedad hace disminuir su valor calorífico.

ii. - Mientras mas baja sea la presión del vapor, mayor diámetro de tubería se requerirá, debido al incremento que sufre el volumen específico.

iii. - A mayor caudal se incrementa la caída de presión para un determinado tamaño de tubería.



iv. - Debido a las altas velocidades que acompañan a toda caída de presión, el vapor erosionará más fácilmente las tuberías, especialmente en los codos o cambios de direcciones.

v. - El vapor que fluye a altas velocidades en una tubería puede producir ruidos infernales. Normalmente en tuberías principales de distribución se debe adoptar velocidades elevadas de hasta 50 m/seg. En tramos de conexión a equipos, en cambio se recomienda adoptar velocidades inferiores de alrededor de los 20 m/seg.

vi. - Las tuberías a utilizarse en nuestro sistema de vapor, tanto en la distribución de vapor como también en la conducción del condensado serán tuberías de acero al carbono A 53-A tipo Schedule 40, que resisten presiones de hasta  $570 \text{ lb/pulg}^2$  (recomendadas en el código ASTM).

En la fig (8.6) el recorrido de la tubería de distribución que se describe como sigue.

Las calderas que generan nuestro vapor por medio de la tubería principal transportaran el vapor hasta el punto B en donde nace un ramal B-L que suministra vapor a la lavadora de bidones. Luego siguiendo el recorrido de la tubería principal en el punto A nace el ramal A-M que suministra vapor a los calentadores de agua, y finalmente la tubería que conduce vapor al pasteurizador por el ramal A-P.

## 8.2 CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIAS DE VAPOR Y DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION

Un incorrecto dimensionamiento y montaje de las tuberías de vapor hace que éste no llegue a la presión y temperatura deseada, además puede provocar golpes de ariete\* y erosiones en las tuberías.

Como la planta lechera utiliza calderas industriales de capacidad mediana, utilizaremos para efectos de cálculo diagramas experimentales que sirve para dimensionar las instalaciones de vapor de poca magnitud.

Los parámetros necesarios para el dimensionamiento de tuberías de vapor son:

- Caudal másico (lb/h o kg/h)
- Presión de vapor ( $\text{kg/cm}^2$ ): Se tomará la presión al comienzo del tramo a calcular, teniendo la precaución de no tomar tramos mayores de 100 mtrs.

\*Golpe de ariete es la serie de choques, produciendo sonidos semejantes al golpe de martillo, causado por la detención o amortiguación súbita del flujo de agua o vapor condensado en una tubería. Este fenómeno produce: a) tensión y vibraciones en la tubería y conexiones; y b) ruidos.

$Q_t$  = Caudal en la tubería = 0.393 GPM ( $2.48 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg.}$ )

$\phi$  = Diámetro de la tubería = 0.364 pulg. ( $9.24 \times 10^{-3} \text{ m}$ )

$e$  = factor de rugosidad

$$V = \frac{4 (2.48 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg.})}{3.1416 (9.24 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 0.37 \text{ m/seg.}$$

$$Re = \frac{\phi V}{\nu} = \frac{(9.24 \times 10^{-3} \text{ m}) \times 0.37 \text{ m/seg.}}{4.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg.}} = 795 \quad \text{Ref (6)}$$

$$\frac{e}{\phi} = 0.0006$$

En el diagrama de Moody se comprueba flujo laminar; entonces tendremos que:

$$h_l = \frac{64}{Re} \frac{L}{\phi} \frac{V^2}{2} \quad \text{Ref (6)}$$

Tubería de suministro:

$$hl_s = \frac{64}{795} \times \frac{9.6 \text{ m}}{9.24 \times 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0.37 \text{ m/seg.})^2}{2} \times \frac{1}{9.81 \text{ m/seg.}^2}$$

$$hl_s = 0.58 \text{ m (1.9 pies)}$$

Tubería de retorno:

$$hl_r = \frac{64}{795} \times \frac{8.4 \text{ m}}{9.24 \times 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0.37 \text{ m/seg.})^2}{2} \times \frac{1}{9.81 \text{ m/seg.}^2}$$

$$hl_r = 0.51 \text{ m (1.67 pies)}$$

Pérdida total:

$$h_t = hl_s + hl_r = 0.58 \text{ m} + 0.51 \text{ m}$$

$$h_t = 1.1 \text{ m}$$

La pérdida de carga total debida a la fricción es de 1.1 metros que es un valor razonable y aceptable tomando en cuenta que la longitud total de la tubería es de 18 metros. Además se tomó como diámetro del tamaño de la bomba que es de 1/4 pulg., siendo las conecciones en el tanque de alimentación de combustible con tuberías de 3/4 pulg. de diámetro, en la fig (7.1) se muestra las disposición de las tuberías utilizando reductores para variar el tamaño de la tubería.

- Caída máxima de presión admisible ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ): Viene dada por la diferencia entre la presión disponible al comienzo del tramo y la presión necesaria al final del mismo.
- Longitud total de la tubería (m): Se considera la longitud de la tubería horizontal mas la longitud debida a válvulas, codos, conexiones, etc.

#### PROCEDIMIENTO DEL CALCULO

Paso 1: Usando la FIG (8.1) con el caudal de vapor que circula por el tramo de la tubería escogida, por la parte inferior izquierda nos desplazamos horizontalmente hasta interceptar la línea de presión que corresponde al comienzo del tramo de ésta tubería.

Paso 2: A partir de este punto ascendemos verticalmente hasta la parte superior del diagrama en donde se deberá leer el diámetro de la tubería correspondiente a la velocidad media recomendada ubicada en la parte superior derecha. Si el diámetro queda intercalado entre 2 líneas se deberá escoger el tamaño inmediato superior.

Paso 3: A continuación utilizamos la Fig. (8.2) y entramos por la parte inferior con el caudal de vapor de la tubería, luego ascendemos hasta interceptar la línea inclinada correspondiente al tamaño de la tubería escogida en el paso 2, a la derecha leemos la caída de presión en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  por cada 100 metros de tubería.

Paso 4: A éste valor obtenido debemos añadir la longitud equivalente de tubería recta debido a los accesorios y válvulas. Para recorridos bastantes rectos es recomendable tomar un 10% mas de longitud.

Antes de pasar a determinar el diámetro y la caída de presión de cada tramo de tubería es importante tomar en consideración los siguientes detalles.

Detalle 1: La Fig. (8.2) está hecho para vapor a  $7 \text{ kg/cm}^2$ , por lo tanto para otras presiones, se deberá multiplicar la caída de presión obtenida por el factor de corrección que se encuentra en la parte lateral del diagrama.

Detalle 2: Si la suma de caídas de presión de los diferentes tramos de tubería resulta superior a la máxima permitida, se deberá rehacer los cálculos a base de velocidades inferiores, con lo que se tendría tuberías de mayor diámetro.

Siguiendo el circuito de tubería como en la Fig. (8.6), podemos dividir en 5 tramos que son denominados así.

TRAMO C-B

TRAMO B-A

TRAMO B-L

TRAMO A-M

TRAMO A-P

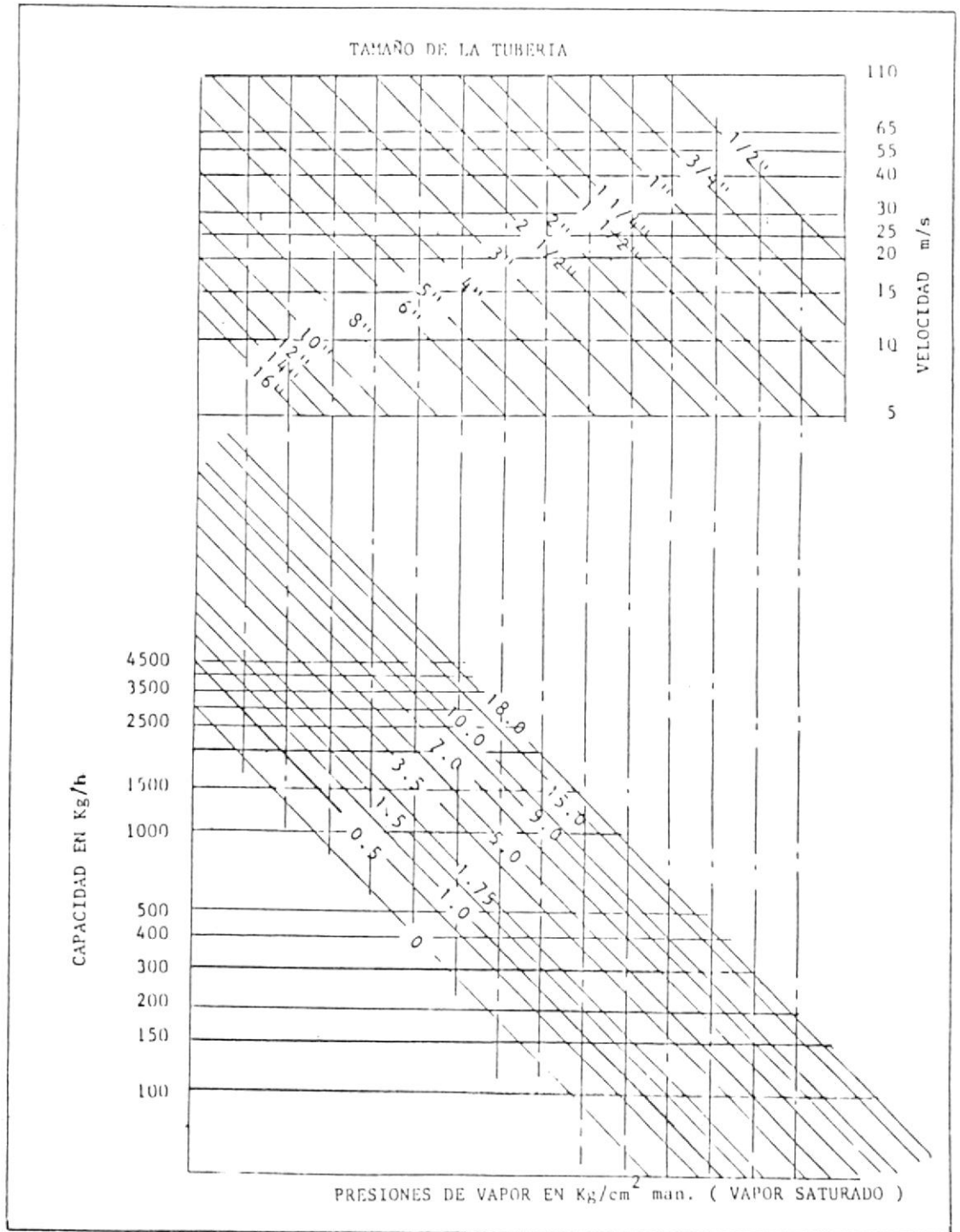


FIGURA 8.1 DIAGRAMA PARA DIMENSIONAR TUBERIAS DE VAPOR

PARA OTRAS PRESIONES USAR EL FACTOR DE CORRECCION

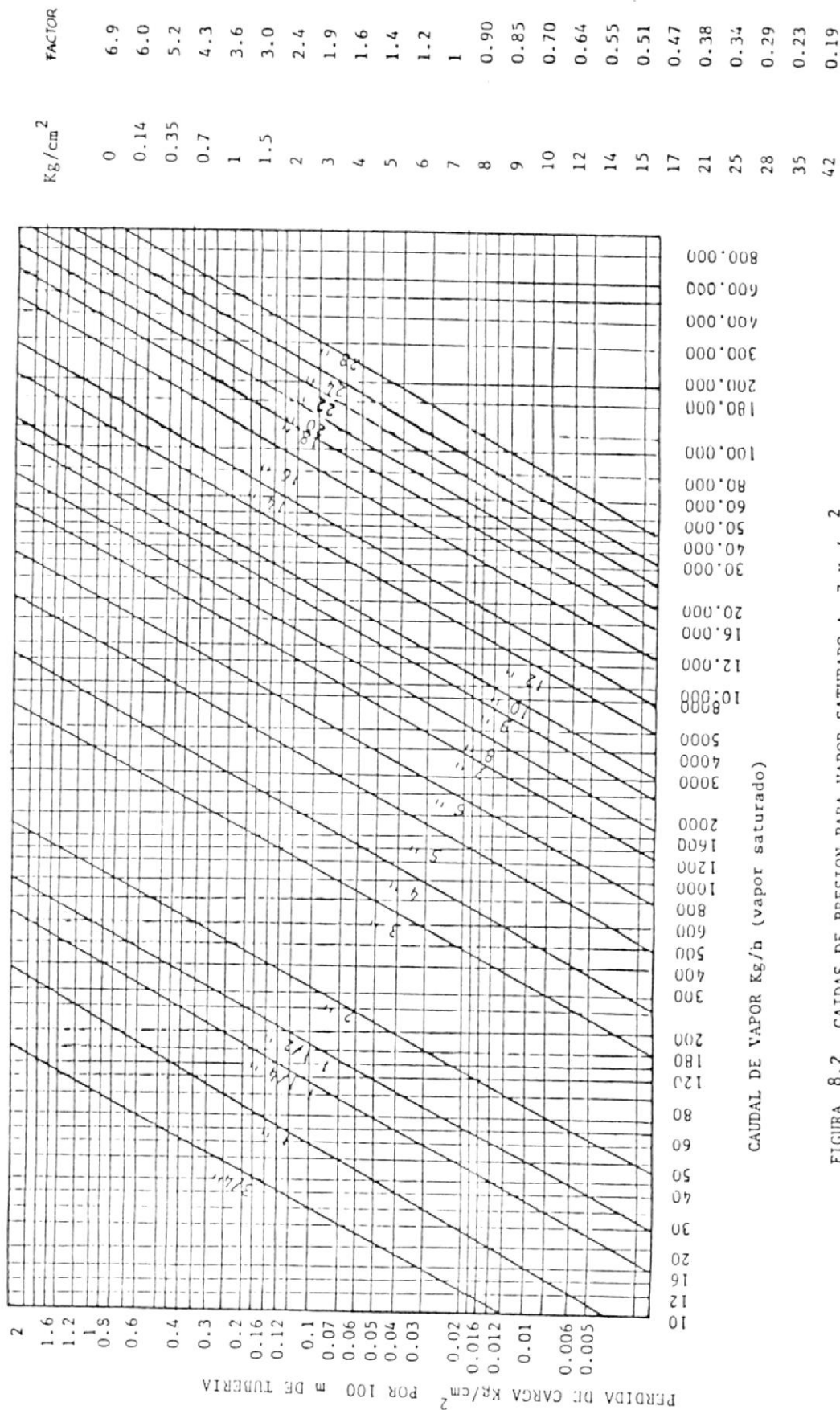


FIGURA 8.2 CAIDAS DE PRESION PARA VAPOR SATURADO A 7 KG/CM<sup>2</sup> max.

TRAMO C - B

Es considerada como tubería principal

$$Q_t = 1250 \text{ kg/h}$$

$$P_e = 7 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_p = 40 \text{ m/s}$$

$$L = 18 \text{ m}$$

Se determina:

$$\phi = 2 \text{ pulg}$$

$$\Delta P = 1.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada } 100 \text{ m de tubería}$$

$$\text{Presión al final del tramo} = 7 \text{ kg/cm}^2 - \frac{1.2 \text{ kg/cm}^2 \times 18 \text{ m} \times 1.1}{100 \text{ m}}$$

$$P_s = 6.76 \text{ kg/cm}^2$$

TRAMOS B - A

Es considerada como tubería principal

$$Q_t = 1025 \text{ kg/h}$$

$$P_e = 6.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_p = 40 \text{ m/s}$$

$$L = 8 \text{ m}$$

Se determina:

$$\phi = 2 \text{ pulg}$$

$$\Delta P = 0.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada 100 metros de tubería}$$

$$P_s = 6.76 \text{ kg/cm}^2 - \frac{0.9 \text{ kg/cm}^2 \times 8 \text{ m} \times 1.1}{100 \text{ m}}$$

$$P_s = 6.68 \text{ kg/cm}^2$$

TRAMO B - L

Es considerada como tubería secundaria

$$Q_t = 225 \text{ kg/h}$$

$$P_e = 6.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_p = 20 \text{ m/s}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

Se determina:

$$\phi = 1 \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

$$\Delta P = 0.32 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada 100 m de tubería}$$

$$P_s = 6.76 \text{ kg/cm}^2 - \frac{0.32 \text{ kg/cm}^2 \times 5 \text{ m} \times 1.1}{100 \text{ m}}$$

$$P_s = 6.74 \text{ kg/cm}^2$$

TRAMO A - M

Es considerada como tubería secundaria

$$Q_t = 660 \text{ kg/h}$$

$$P_e = 6.68 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_p = 20 \text{ m/s}$$

$$L = 6.7 \text{ m}$$

Se determina:

$$\varnothing = 2 \text{ pulg}$$

$$\Delta P = 0.38 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada } 100 \text{ m de tubería}$$

$$P_s = 6.68 \text{ kg/cm}^2 - \frac{0.38 \text{ kg/cm}^2 \times 6.7 \text{ m} \times 1.1}{100\text{m}}$$

$$P_s = 6.65 \text{ kg/cm}^2$$

TRAMO A - P

Es considerada como tubería secundaria

$$Q_t = 144 \text{ kg/h}$$

$$P_e = 6.68 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_p = 20 \text{ m/s}$$

$$L = 9.6 \text{ m}$$

Se determina:

$$\phi = 1 \text{ pulg}$$

$$\Delta P = 0.52 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada } 100 \text{ m de tubería}$$

$$P_s = 6.68 \text{ kg/cm}^2 - \frac{0.52 \text{ kg/cm}^2 \times 9.6 \text{ m} \times 1.1}{100 \text{ m}}$$

$$P_s = 6.62 \text{ kg/cm}^2$$

Las caídas de presiones determinadas son totalmente aceptables ya que las presiones requeridas en los equipos son menores que las presiones resultantes al final de las tuberías secundarias.

### 8.3 CONDICIONES DE DISEÑO PARA EL CIRCUITO DE RETORNO DE CONDENSADO

La segunda parte del circuito lo conforma la tubería que extrae el condensado, y se conoce con el nombre de "Sistema de Retorno de Condensado".

Las condiciones que rigen para el diseño del circuito de retorno de condensado son:

- 1.- El principal problema de dimensionamiento de ésta tubería reside

en el efecto de revaporización\*, puesto que ésto impide hacer los cálculos como si se tratara de tuberías de agua. El siguiente criterio nos facilitará resolver nuestro problema.

Para generar vapor el sistema debe pasar por 3 períodos de funcionamiento

i.- Puesto en marcha: Operación en la cual el aire y el condensado frío son descargados a través de trampas de vapor.

ii.- Pre calentamiento: La trampa de vapor descarga gran cantidad de condensado frío, debido a que la diferencia de temperatura entre el vapor y la instalación tiene su máximo valor. Aquí acompaña una gran caída de presión, por tanto tendremos una cantidad muy pequeña de revaporizado en el circuito de condensado.

iii.- Régimen: Es cuando la instalación ha llegado a la temperatura de trabajo normal máxima, la velocidad de condensación está en su valor mínimo, pero como el condensado tiene ahora una temperatura próxima a la del vapor, tendremos revaporizado.

Como solo conocemos el caudal cuando el sistema funciona en régimen,

\*La revaporización frecuentemente se produce en la línea de condensado y se manifiesta con el cambio de fase de líquido a vapor debido a la reducción instantánea de presión en las trampas de vapor.

dada la experiencia por lo general se recomienda considerar el caudal de puesta en marcha igual al doble del caudal de régimen.

2.- Debido a la revaporización y dado que, el volumen de vapor es mucho mayor que el volumen de agua puede producir presiones excesivas ocasionando deterioros en la tubería de retorno, las dimensiones de la tubería deben ser diseñadas de tal forma que el volumen de la mezcla (condensado + revaporizado) circule a un velocidad razonable. Una velocidad de 5000 pies/min. (25.4 m/s) es recomendada para éste tipo de instalación.

3.- No es conveniente trabajar con caídas de presión elevadas en las tuberías de retorno, puesto que ésto produciría una reducción de la capacidad de descarga de las trampas de vapor, especialmente en la puesta en marcha cuando el caudal del condensado es máximo y la presión es mínima. Se recomienda dimensionar las tuberías de condensado en un rango de caída de presión de 0.05 a 0.1 kg/cm<sup>2</sup> por cada 100 m de recorrido.

En la fig (8.6) el recorrido de la tubería de retorno de condensado se describe como sigue.

De los pasteurizadores sale un ramal P' - A'. Por otro lado sale el ramal M' - A' de los calentadores de agua, aquí se unen los dos ramales para formar la tubería principal de retorno de condensado A' - C' que termina en el tanque de agua de alimentación.

#### 8.4. CALCULO DEL DIAMETRO DE LAS TUBERIAS DE RETORNO DE CONDENSADO Y DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION

Los parámetros necesarios para el dimensionamiento de tubería de retorno de condensado son:

- Carga de condensado (kg/h): Debe trabajarse con el caudal de puesta en marcha.
- Presión de vapor (lb/pulg<sup>2</sup>): Es la presión de vapor a la cual trabaja el equipo
- Presión en tubería de retorno (lb/pulg<sup>2</sup>abs): Es la presión a la cual descarga el condensado.
- Velocidad permisible en la tubería de retorno (pies/min.): Es la velocidad recomendada (5000 pies/min. o 25.4 m/seg.).

#### PROCEDIMIENTO DE CALCULO

Paso 1: Primero encontramos la velocidad en el sistema por medio de la fórmula siguiente:

FORM 8.1

$$\text{Veloc. en pies/min por cada 100 lb/h} = \frac{\text{Velocidad permisible (pies/min)} \times 100}{\text{carga de condensado (lb/h)}}$$

Paso 2: Por otro lado en la Fig. (8.3), con el dato de la presión del vapor y la presión de retorno, encontramos el factor de escala.

Paso 3: La velocidad obtenida en el paso 1 se la divide para el factor de escala y el resultado es el valor de la velocidad final en pies/min. por cada 100 lb/h.

Paso 4: Con el dato de la velocidad final entramos a la Fig (8.3) para encontrar el punto de intersección con el dato de la presión de vapor, y se lee el diámetro de la tubería, seleccionando el tamaño inmediato superior si cae entre 2 líneas. Si el diámetro obtenido es mayor que 3 pulg. consultar Ref. (25).

Paso 5: Para hallar la caída de presión utilizamos el diagrama (8.4) y con el caudal de puesta en marcha y el diámetro obtenido en el paso 4 sacamos la caída de presión por cada 100 metros de tubería.

Siguiendo el circuito de tubería de retorno de condensado fig. (8.6), podemos dividir en 3 tramos que son denominados así.

TRAMO P' - A'

TRAMO M' - A'

TRAMO A' - C'

Para otras tuberías multiplicar la velocidad de tubería de 3 pulgadas por:

FACTOR	0.98	0.37	0.25	0.15	0.0095
TAMARO DE LA TUBERIA	4	5	6	8	10

Cuando se descarge a una presión mayor que la atmosférica multiplicar la velocidad por el factor correspondiente para la presión de suministro y descarga

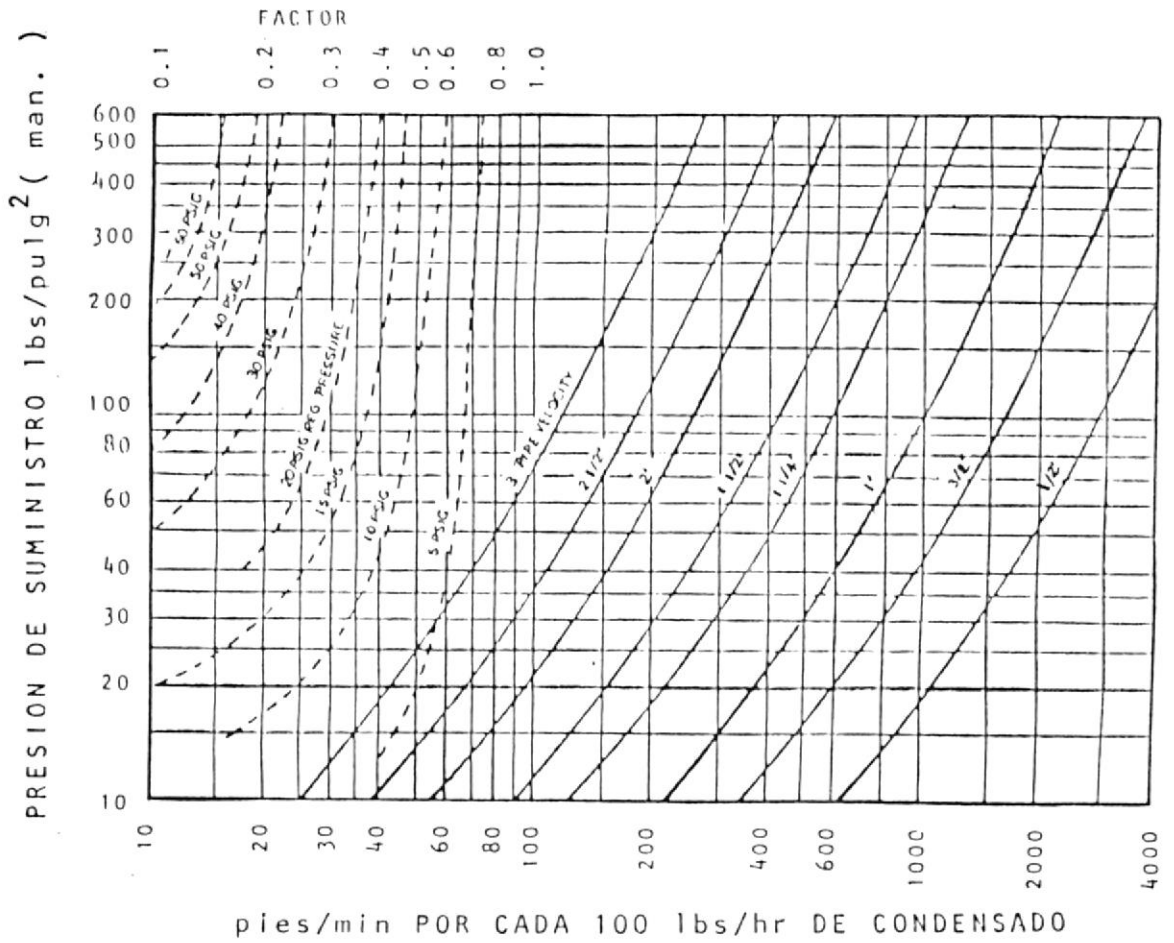


FIGURA 8.3 DIAGRAMA PARA DIMENSIONAR TUBERIAS DE RETORNO DE CONDENSADO

CAIDAS DE PRESION en  $\text{Kg/cm}^2$  x 100 m de tubería

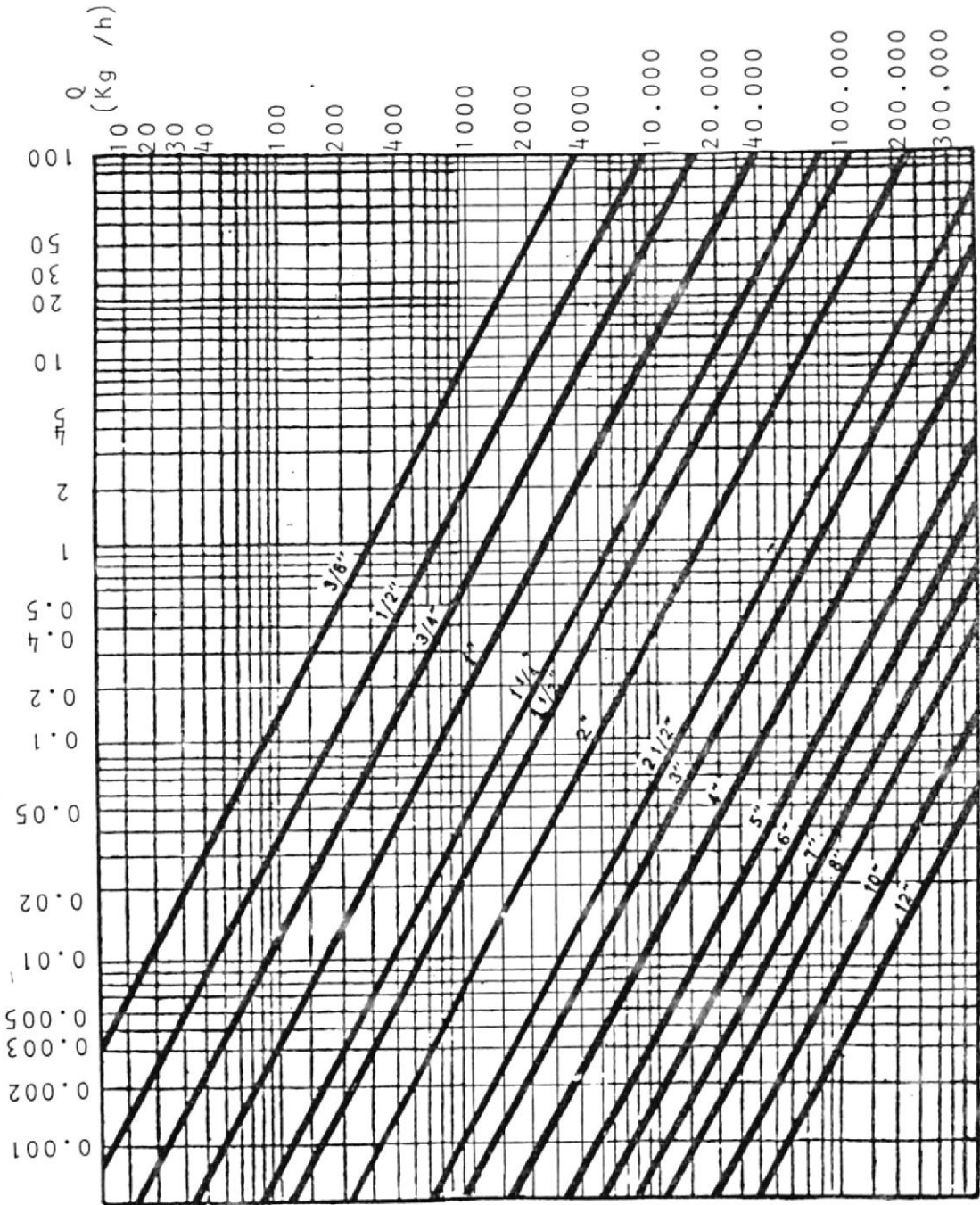


FIGURA 8.4 DIAGRAMA caudal vs. caída de presión

TRAMO P' - A'

$$V_p = 5000 \text{ pies/min.}$$

$$Q_t = 144 \text{ kg/h} \times 2 = 288 \text{ kg/h} \quad (634 \text{ lb/h})$$

$$P_v = 30 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_{tc} = 5 \text{ lb/pulg}^2$$

$$L = 9.6 \text{ m}$$

Se determina:

$$V = \frac{5000 \text{ pies/min.} \times 100}{634 \text{ lb/h}} = 789 \text{ pies/min por cada } 100 \text{ lb/h}$$

En la Fig (8.3)

$$\text{Factor de escala} = 0.57$$

$$V_{\text{final}} = \frac{789}{0.57} = 1384 \text{ pies/min. por cada } 100 \text{ lb/h}$$

La Fig. (8.3)

$$\phi = 1/2 \text{ pulg}$$

En la Fig (8.4)

$$\Delta P = 0.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada } 100 \text{ metros de tubería}$$

TRAMO M' - A'

$$V_p = 5000 \text{ pies/min.}$$

$$Q = 660 \text{ kg/h} \times 2 = 1320 \text{ kg/h} \quad (2904 \text{ lb/h})$$

$$P_v = 30 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_{tc} = 5 \text{ lb/pulg}^2$$

$$L = 7\text{m}$$

Se determina:

$$V = \frac{5000 \text{ pies/min.} \times 100}{2904 \text{ lb/h}} = 172 \text{ pies/min por cada } 100 \text{ lb/h}$$

En la Fig (8.3)

$$\text{Factor de escala} = 0.57$$

$$V_{\text{final}} = \frac{172}{0.57} = 302 \text{ pies/min. por cada } 100 \text{ lb/h}$$

La Fig. (8.3)

$$\phi = 1 \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

En la Fig (8.4)

$$\Delta P = 0.08 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada } 100 \text{ m de tubería}$$

TRAMO A' - C'

$$V_p = 5000 \text{ pies/min.}$$

$$Q = 804 \text{ kg/h} \times 2 = 1608 \text{ kg/h} \text{ (3537 lb/h)}$$

$$P_v = 30 \text{ lb/pulg}^2$$

$$P_{tc} = 5 \text{ lb/pulg}^2$$

$$L = 25 \text{ m}$$

Se determina:

$$V = \frac{5000 \text{ pies/min.} \times 100}{3537 \text{ lb/h}} = 141 \text{ pies/min por cada 100 lb/h}$$

En la Fig (8.3)

$$\text{Factor de escala} = 0.57$$

$$V \text{ final} = \frac{141}{0.57} = 247 \text{ pies/min. por cada 100 lb/h}$$

La Fig. (8.3)

$$\phi = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg}$$

En la Fig (8.4)

$$\Delta P = 0.06 \text{ kg/cm}^2 \text{ por cada 100 m de tubería}$$



Para calcular el resultado final de la caída de presión total nos valemos de la siguiente tabla:

TABLA No. 8.1

TRAMO	LONGITUD (m)	CAUDAL (kg/h)	TAMAÑO (pulg.)	RESISTENCIA por 100m	TOTAL
P'-A'	9.6	288	1/2	0.2 kg/cm <sup>2</sup>	0.019
M'-A'	7	1320	1 1/4	0.08 kg/cm <sup>2</sup>	0.006
A'-C'	25	1608	1 1/2	0.06 kg/cm <sup>2</sup>	<u>0.015</u>
					0.040
				10 % extra por curvas y válvulas	<u>0.004</u>
				Pérdidas total	0.044 kg/cm <sup>2</sup>

El resultado final de la caída de presión total nos da un valor de 0.044 kg/cm<sup>2</sup> que es aceptable, tomando en cuenta que la longitud total es de 42 metros.

#### 8.5 SELECCION DEL AISLAMIENTO Y DETERMINACION DE ESPESORES

Las tuberías del sistema de distribución y condensado son de acero, y tienen la propiedad de ser buen conductor de calor, tanto así que es perjudicial, puesto que el calor que lleva el fluido de trabajo, se transmitiría al medio ambiente.

Para evitar éstas pérdidas de calor que por supuesto conllevan a pérdidas en el sistema, debemos utilizar un medio aislante térmico.

En el mercado existen muchas clases de materiales aislante térmicos, tales como:

- Asbesto en fibra
- Asbesto en polvo
- Lana de vidrio
- Silicato de calcio
- Magnesia

Para nuestro sistema de tubería vapor - condensado, utilizaremos como aislante la lana de vidrio, ya que presenta las siguiente ventajas:

- .- Buena característica de aislante
- .- Facilidad de instalación
- .- Rendimiento (Alta resistencia a la transferencia de calor)
- .- Duración
- .- No se quema y no le afecta la humedad
- .- Es económica
- .- Facilidad de obtención en nuestro mercado

Las características técnicas de la lana de vidrio son:

.- Rango de temperatura de trabajo	500 °C
.- Resistencia de transmisión de calor	K = 0.31
.- Densidad específica	60 kg/m <sup>3</sup>
.- Longitud	tramo de 1 m

#### DETERMINACION DE ESPESORES

Una vez estudiadas las características técnicas de la lana de vidrio, nos toca determinar el espesor del material para obtener los resultados mas económicos, Fig (8.5).

En la práctica y dado la frecuencia con que se trabaja con lana de vidrio, se han estipulado valores de espesores óptimos minimizando costos de material, dependiendo de la temperatura del aislamiento y del diámetro de tubería utilizada. Ver Tabla (8.2)

Utilizando la tabla (8.2) tenemos que:

DIAMETRO (plg)	TEMPERATURA DE AISLAMIENTO (°F)	ESPESOR (plg)
1/2	200	1.0
1	300	1.5
1 1/4	300	2.0
1 1/4	200	1.0
1 1/2	200	1.5
2	300	2.0

TABLA 8.2 ESPEORES RECOMENDADOS DE AISLAMIENTO PARA TUBERIAS (Pulgadas)

Temperaturas de Aislamiento ( $^{\circ}$ F)

D I A (plg)	150	200	250	300	350	400	450	500
0.50	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0
0.75	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5
1.00	0.5	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5
1.25	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0
1.50	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0
2.00	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5
2.50	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	3.0
3.00	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0
3.50	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.0
4.00	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
4.50	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5
5.00	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.5
6.00	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
7.00	1.5	2.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0
8.00	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
9.00	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
10.00	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
12.00	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
14.00	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
16.00	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
18.00	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
20.00	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
24.00	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0
30.00	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
36.00	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5
Flat:	2.0	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	6.5

Ref (10)

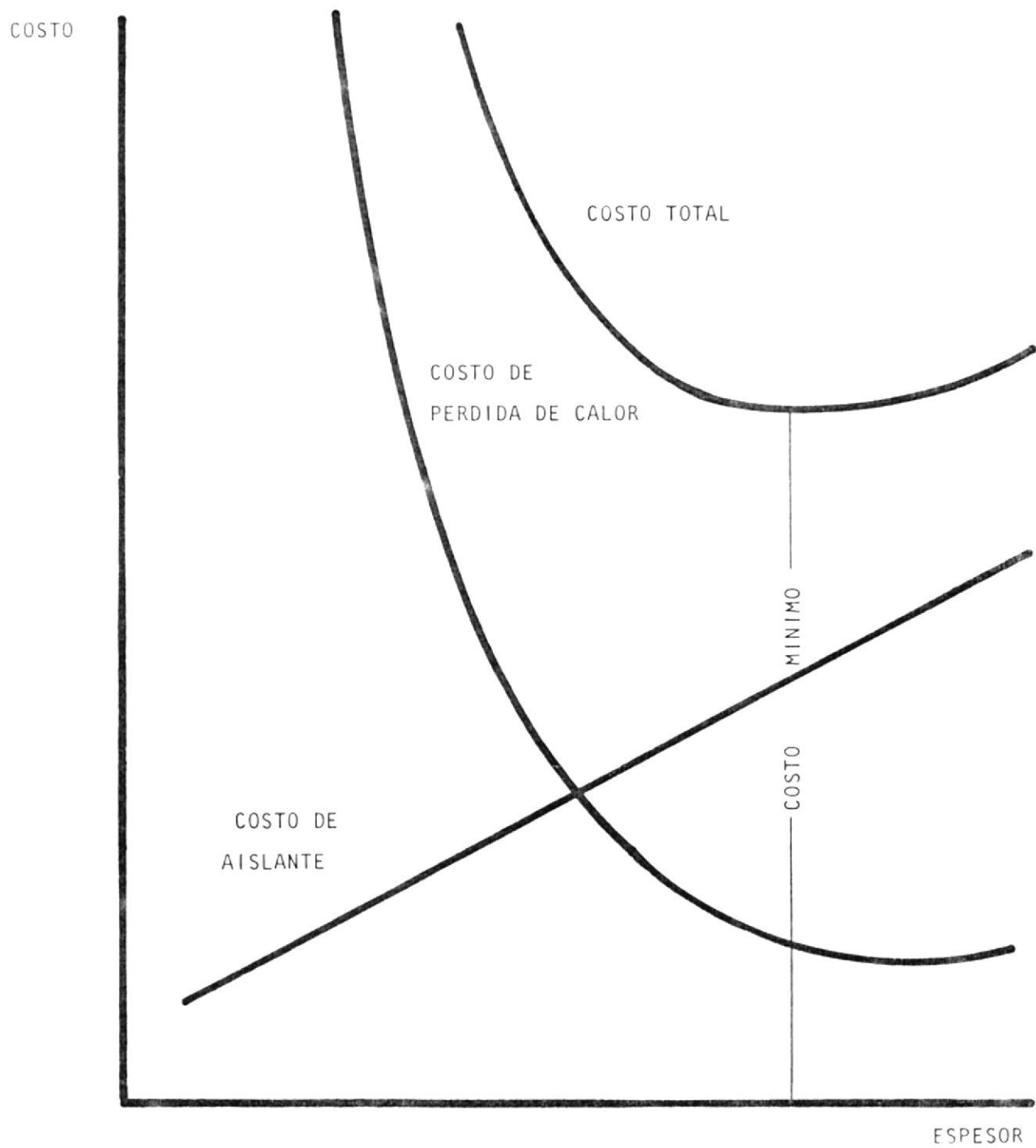
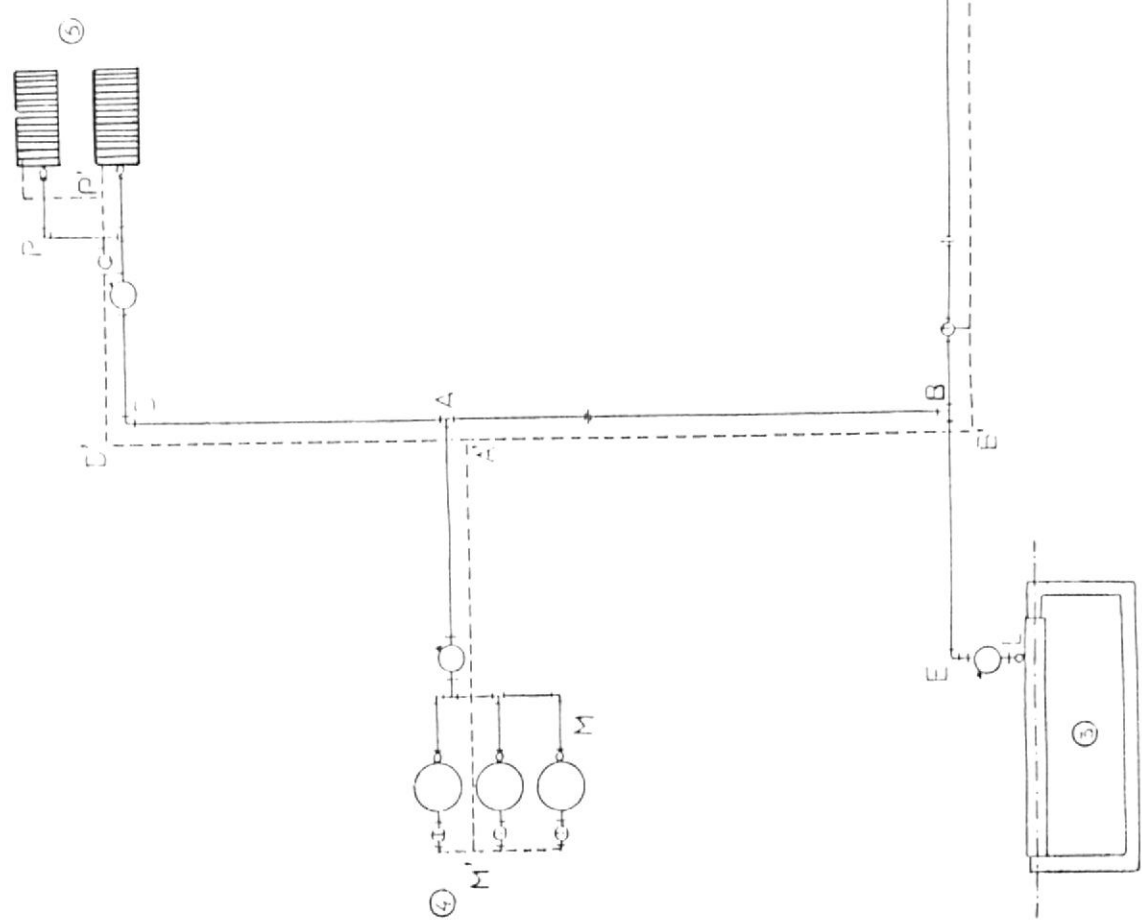


FIGURA 3.5

FIGURA 8.6 ESQUEMA DEL CIRCUITO DE TUBERIAS DE VAPOR Y CONDENSADO EN LA PLANTA



- 1 CALDERAS
- 2 TANQUE DE CONDENSADO
- 3 LAVADORA DE BIDONES
- 4 CALENTADORES DE AGUA
- 5 PASTEURIZADORES
- LINEA DE VAPOR
- - - LINEA DE CONDENSADO

## C A P I T U L O IX

### SELECCION DE DISPOSITIVOS ANEXOS DE LA INSTALACION TERMICA

#### 9.1 CONDICIONES DE DISEÑO DE LAS TRAMPAS DE VAPOR

Una trampa de vapor es una válvula automática que permite eliminar el condensado, aire, y otros gases no condensables de las tuberías principales de vapor y equipos que trabajan con vapor, impidiendo al mismo tiempo la pérdida de vapor en el sistema de distribución o en el equipo.

##### 9.1.1 Localización de la trampa de vapor

En el sistema de distribución deben instalarse:

- a.- Al final de la tubería principal de vapor.
- b.- En instalaciones que tengan tuberías muy largas de vapor. Se recomienda colocar trampas en intervalos de 200 pies.
- c.- En cualquier punto de nivel inferior en una línea horizontal, donde pueda existir la posibilidad de formarse condensado.

En el sistema de condensado deben instalarse:

- d.- Debajo del equipo que se requiere drenar, para permitir al condensado fluir con gravedad a la trampa.

En nuestro sistema se colocará una trampa al final del tramo C-B de la tubería de distribución de vapor Fig (8.6) y a la salida de cada equipo calentador de agua y pasteurizador.

#### 9.1.2 DIMENSIONES DE TUBERIAS EN LOS GRUPOS DE TRAMPAS DE VAPOR

- a - La tubería de entrada y salida de las trampas de vapor debe ser mayor o de igual diámetro de las conexiones de las trampas.
- b - Si las tuberías hasta y desde las trampas tienen mas de 4 0 5 pies de largo deben ser de un tamaño mayor que las trampas.
- c - En tuberías descendente, se recomienda que sean de un diámetro mayor al de la trampa.

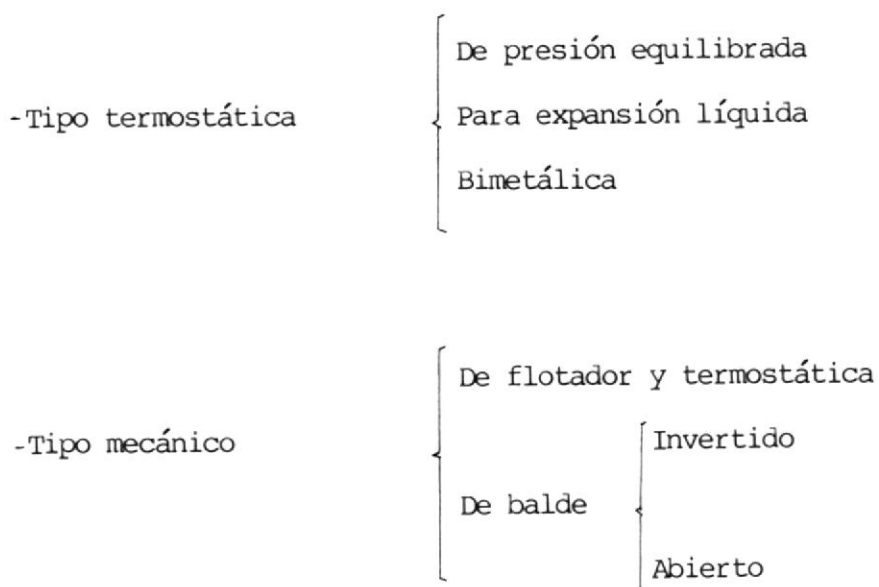
#### 9.1.3 CONDICIONES GENERALES

- a - El condensado se dejará fluir por gravedad desde los equipos hasta el punto C' Fig (8.6)
- b- En la trampa ubicada al final del tramo C-B se debe colocar un brazo colector cuya longitud no deberá ser menor de 1 1/2 veces su diámetro y no menor de 8 pulg.; y el diámetro de éstos deberá ser el mismo de la tubería de vapor y nunca menor que el diámetro de la tubería más pequeña. Fig. (9.1).

- c - Cuando se conecta una tubería de mayor diámetro a una de menor que conduce el condensado hasta la trampa, debe usarse conexiones excéntricas. Fig (9.2).
- d - Se utilizará una trampa para cada unidad del equipo que emplea vapor.
- e - La presión a la entrada de la trampa será superior a la presión en la salida de la misma.
- f - La capacidad de descarga debe ser algo superior al volumen de condensado que se ha de evacuar.
- g - La cantidad de condensado se basa en la carga máxima que ocurre y la menor presión en el momento de la puesta en marcha.
- h - Se elevará el condensado mediante presión de vapor en la planta, hasta una tubería de retorno superior (a la altura de la tubería de distribución) que tenga caída hasta el tanque de alimentación.
- i - Se instalará 1 filtro antes de cada trampa.

## 9.2 TIPOS DE TRAMPAS DE VAPOR

Una clasificación general de trampas de vapor está dada así:



-Tipo termodinámico

-Tipo impulso

Las trampas más usuales son:

9.2.1 Tipo termostática.- Esta responde a la diferencia de temperatura entre vapor y condensado.

Las características de operación de éste tipo de trampa son:

Ventajas:

- Mayor capacidad de descarga en relación con otras.
- Opera para la descarga en un rango entre 0 y 300 lb/pulg<sup>2</sup>.
- Gran capacidad para ventilar aire.

Desventajas:

- No es resistente a fuertes golpes de ariete.
- Descarga intermitente y violenta.
- Descarga condensado a 10 o 15<sup>o</sup>F por debajo de la temperatura de saturación.

9.2.2 Tipo de flotador y termostática.- Responde a la diferencia entre vapor y condensado. Evacúa aire a través de la válvula termostática incorporada.

Las características de operación son:

**Ventajas:**

- Produce descarga inmediata y continua de condensado.
- Gran capacidad para evacuación de aire en los sistemas.
- Descarga de condensado a la temperatura de saturación con alta eficiencia térmica.

**Desventajas:**

- No es afectada por bajas presiones.
- No es resistente a fuertes golpes de ariete.

9.2.3 Tipo de balde invertido.- Responde a la diferencia de flotación del balde o cubeta entre condensado y vapor.

Las características de operación son:

**Ventajas:**

- Es resistente a los golpes de ariete.
- Descarga vapor a una temperatura cercana a la de saturación.
- Opera con presiones variables hasta la máxima presión del diseño.



Desventajas:

- Poca capacidad para ventilación de aire y gases no condensables.
- Descarga intermitente y violenta.
- Hay pérdidas apreciables por fricción a través de la trampa, y por lo tanto no recomienda para muy bajas presiones.

9.2.4 Tipo termodinámico.- Responde a la diferencia de energía cinética entre vapor y condensado, con sello absoluto para el vapor.

Las características de operación son:

Ventajas:

- Descarga eficiente en condiciones variables de carga de condensado.
- Opera con presiones variables, hasta las presiones de diseño.
- Alta resistencia a los golpes de ariete.
- Resistentes a la corrosión, puesto que están contruídos de acero inoxidable.

Desventajas:

- Pierde apreciablemente capacidad a bajas presiones.
- Descarga intermitente y violenta.
- Debe dimensionarse cuidadosamente para la aplicación en particular.

### 9.3 SELECCION DE TRAMPAS DE VAPOR

Los factores para la selección son:

- a - Presión de vapor
- b - Carga máxima de condensado
- c - Evacuación de gases no condensables
- d - Posibilidad de golpes de ariete
- e - Tipo de descarga
- f - Efectos sobre válvulas de control
- g - Contrapresión en retornos
- h - Instalación correcta
- i - Mantenimiento e inspección

Además de éstas consideraciones debemos tener en cuenta que la trampa debe ser del tipo en que el vapor actúe sobre el condensado dentro de la misma para que pueda elevarlo. La mayoría de las trampas de uso corriente, son de éste tipo.

Bajo éstos factores podemos guiarnos para la selección apropiada de

trampas de vapor. Para las condiciones en nuestro sistema podemos hacer la siguiente tabla.

TABLA 9.1

TIPO	Trampa para drenar línea principal de vapor	APLICACION	
		Trampa a la salida de los calentadores de agua	Trampa a la salida de los pasteurizadores
TERMODINAMICA	A	C	C
TERMOSTATICA	C	C	C
FLOTADOR Y TERMOSTATICA	C	A	A
BALDE INVERTIDO	B	C	C

A = Recomendable

B = Menos recomendable

C = No recomendable

#### 9.4 CALCULO Y SELECCION DE JUNTAS DE EXPANSION

En las instalaciones de tuberías de vapor existe dilatación térmica, debido a la alta temperatura que lleva el vapor.

Si no se toman medidas apropiadas ocasionarían problemas muy molestos, por lo tanto es aconsejable prevenir una libertad de expansión en éstas tuberías, a fin de evitar fracturas.

9.4.1 Cálculo de juntas de expansión.- Para calcular las expansiones térmicas de los diferentes tramos utilizaremos la Fig (9.5) para tuberías de acero.

Línea de distribución de vapor:

TRAMO F-E

Longitud = 23 m (75.5 pies)

$\phi = 2$  pulg

T = 300 °F

Expansión según gráfico = 1.90 pulg por cada 100 pies

Expansión total = 1.90 pulg  $\times \frac{75.5}{100} = 1.43$  pulg

TRAMO B-D

Longitud = 13 m (42.6 pies)

$$\phi = 2 \text{ pulg}$$

$$T = 300 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Expansión según gráfico = 1.90 pulg por cada 100 pies

$$\text{Expansión total} = 1.90 \text{ pulg} \times \frac{42.6}{100} = 0.81 \text{ pulg}$$

Los tramos F-E y B-D si ameritan juntas de expansión, mientras que los tramos A-M, A-P, E-L no ameritan juntas de expansión debido a su corta longitud.

Línea de condensado:TRAMO D' - B'

Longitud = 13 m (42.6 pies)

$$\phi = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg}$$

$$T = 200 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Expansión según gráfico = 1.1 pulg por cada 100 pies

$$\text{Expansión total} = 1.1 \text{ pulg} \times \frac{42.6}{100} = 0,46 \text{ pulg}$$

TRAMO B' - C'

Longitud = 15 m (49 pies)

$\phi = 1 \frac{1}{2}$  pulg

T = 200 °F

Expansión según gráfico = 1.1 pulg por cada 100 pies

$$\text{Expansión total} = 1.1 \times \frac{49}{100} = 0.54 \text{ pulg}$$

Los tramos D' - B', B' - C', si ameritan juntas de expansión, mientras que los tramos P' - D', M' - A', no ameritan juntas de expansión debido a su corta longitud.

#### 9.4.2 Selección de juntas de expansión:

Existen 3 tipos de juntas de expansión:

- Tipo manguito deslizante
- Tipo fuelle
- Tipo dilatación de caucho

Seleccionaremos las juntas de expansión tipo fuelle, puesto que son usadas para altas presiones en instalaciones de vapor. Estas juntas llevan un manguito pero en forma de fuelle como su nombre mismo lo dice. Fig (9.3).

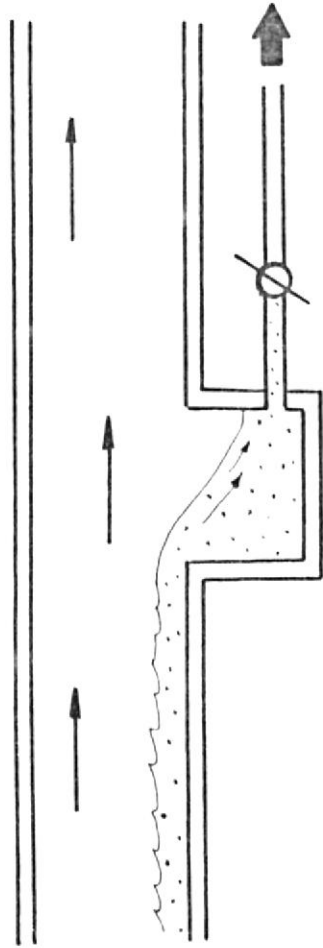


FIGURA 9.1



FIGURA 9.2

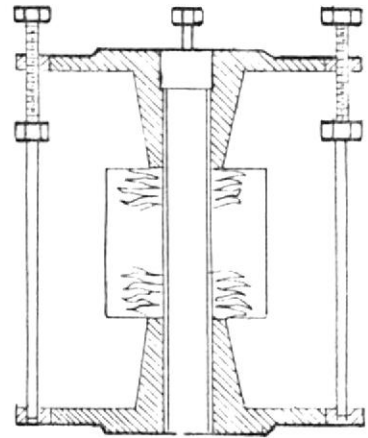


FIGURA 9.3

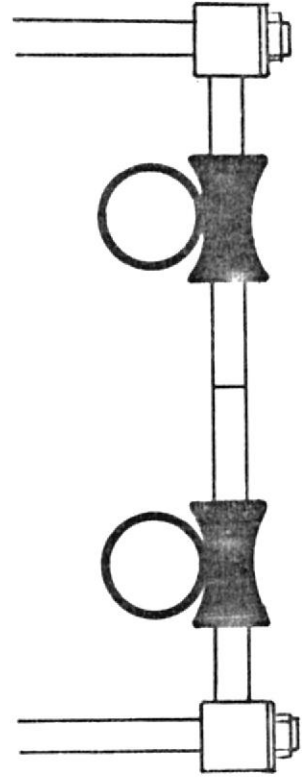


FIGURA 9.4

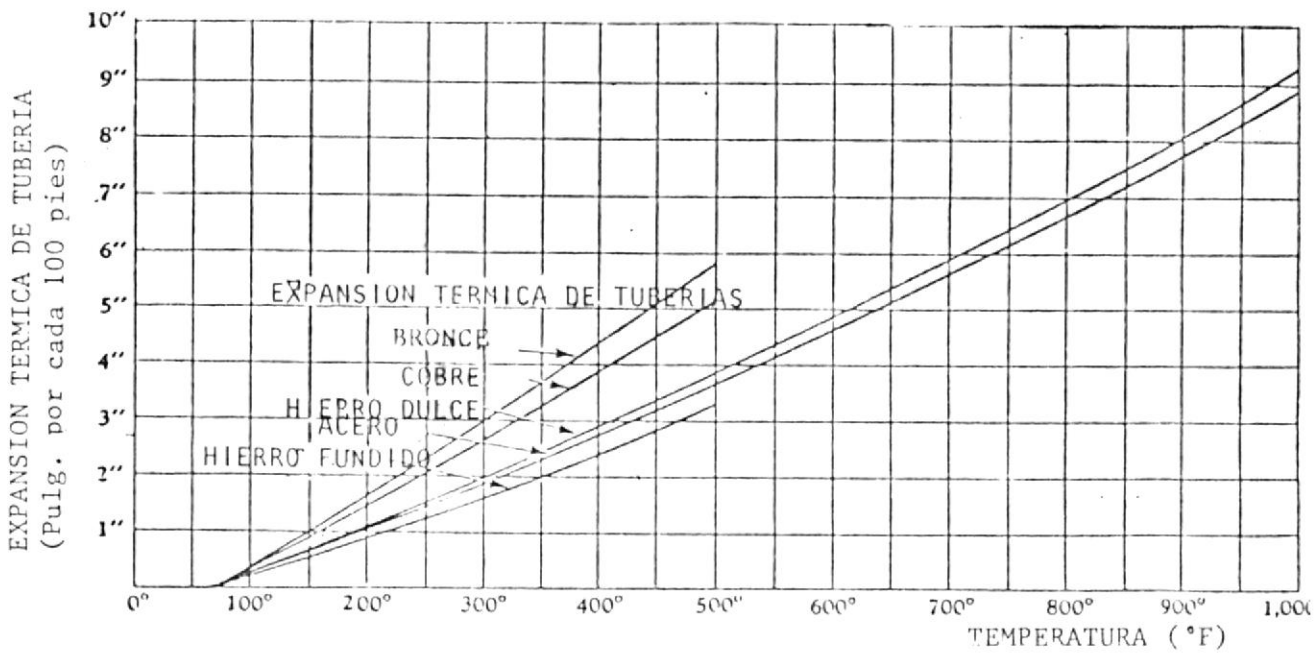


FIGURA 9.5 Expansión Térmica de Tubería



## 9.5 FACTORES DE SELECCION E INSTALACION DE SOPORTES DE LAS TUBERIAS DE VAPOR

### 9.5.1 Factores de selección:

No existe ningún tipo universal de soportes para tuberías de vapor debido a la amplia gama de aplicaciones para las cuales se emplean. Estas requieren diferentes características de funcionamiento. De acuerdo al código americano para tuberías de presión (ASA B 31.1) manifiesta que:

- i - Un soporte apropiado para tubería debe tener una base resistente y rígida sostenida en forma adecuada.
- ii - El soporte debe mantener la alineación en cualquier dirección. Para ésto es necesario que sus partes tengan la suficiente resistencia.
- iii - Debe evitarse el rozamiento producido por el movimiento de la tubería en sus soportes.

Bajo éste criterio seleccionamos soportes del tipo rodillo Fig (9.4), que permitirá un movimiento giratorio de éstos en dirección de la expansión de las tuberías. Como el recorrido de la tubería de distribución es el mismo que la de la tubería de condensado se usará el mismo soporte.

### 9.5.2 Instalación de soportes

Para su instalación necesitamos calcular la distancia entre soportes, y para ésto utilizamos la Fig (9.6).

Es necesario aclarar que éste gráfico es para tubería considerada estandar y llena de agua. Como los soportes del tipo como en la figura (9.4) servirán para tuberías de distribución y de condensado; y como para tuberías de condensado la distancia entre soportes es menor debido a su diámetro, se hará el cálculo para tuberías de condensado.

#### TRAMO A' - F'

Diámetro de la tubería = 1 1/2 pulg.

Gradiente promedio de la tubería = 1 pulg/30 pies

Según el gráfico tenemos:

Distancia entre soportes = 11 pies

#### TRAMO M' - A'

Diámetro de la tubería = 1 1/4 pulg.

Gradiente promedio de la tubería = 1 pulg/20 pies

Según el gráfico tenemos:

Distancia entre soportes = 10 pies

TRAMO P' - A'

Diámetro de la tubería = 1 pulg.

Gradiente promedio de la tubería = 1 pulg/20 pies

Según el gráfico tenemos:

Distancia entre soportes = 6.5 pies

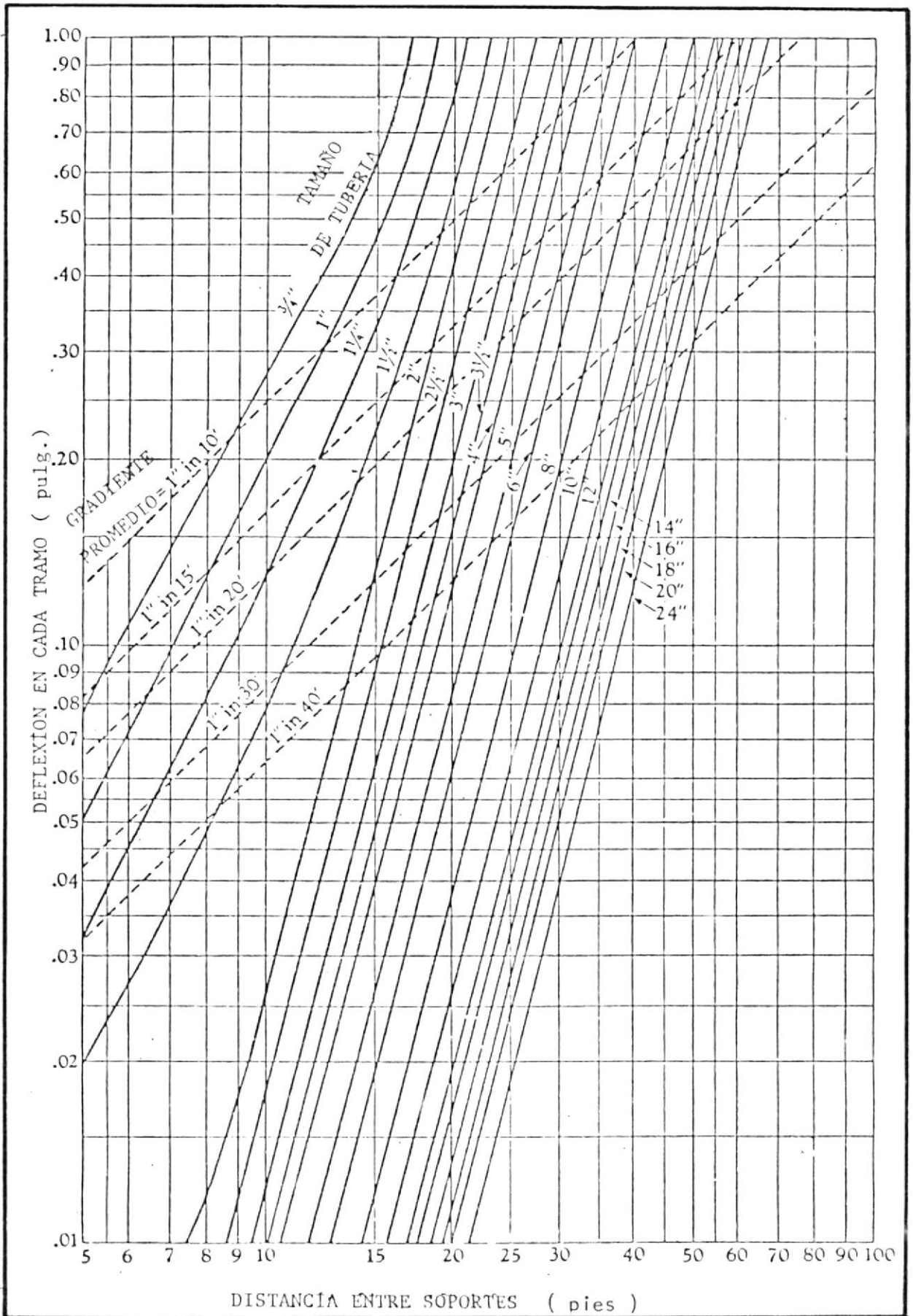


FIGURA 9.6 ESPACIO ENTRE SOPORTES DE TUBERIA HORIZONTAL  
(TUBERIA CONSIDERADA ESTANDAR Y LLENA DE AGUA)

## C A P I T U L O X

### FUENTES DE ABSTECIMIENTO DE AGUA

#### 10.1 FORMA DE ABASTECIMIENTO

La marcha de toda la planta lechera depende de aprovisionamiento de las cantidades necesarias de agua, por eso debe pensarse con todo detenimiento el sistema de abastecimiento más conveniente.

La planta lechera puede disponer de las siguientes posibilidades de abastecimiento:

##### 10.1.1 ABASTECIMIENTO PROPIO.-

Las condiciones de suministro impuestas por la Empresa de Agua Potable (EMAP) y los precios de ésta en constante aumento, obligan a tratar de conseguir su abastecimiento propio o de ampliar el que ya poseen. La planta lechera puede surtirse de agua de tres procedencias:

- a) Agua de Manantial.- Resulta económica pero es rara, pues el afloramiento dependen de las características del terreno. En caso de utilizarse ésta agua es preciso construir un depósito

colector, desde el cual será conducida por tuberías a favor de la pendiente o mediante bombas hacia la planta lechera.

b) Agua telúrica. - Es el más utilizado por las industrias lecheras. Para ello se construyen pozos en la cuenca de captación, los cuales pueden ser cilíndricos o profundos. La diferencia es que en los pozos profundos el nivel del agua se encuentra a mayor profundidad, y se utilizan bombas especiales.

En cambio los pozos cilíndricos llegan hasta 8 metros de profundidad y el agua se extrae mediante bombas centrífugas o de pistón situadas fuera del pozo.

El agua contiene tanta menor cantidad de gérmenes cuanto más profundo se halle, puesto que las capas de tierra obran como filtros.

c.) Agua superficial. - El agua fluvial actualmente tiene poca importancia para el abastecimiento de la planta lechera, debido a su alto grado de contaminación. Mientras que el agua de los grandes lagos interiores poseen un poder elevado de autodepuración, de manera que necesitan tan sólo un ligero tratamiento en la mayoría de los casos.

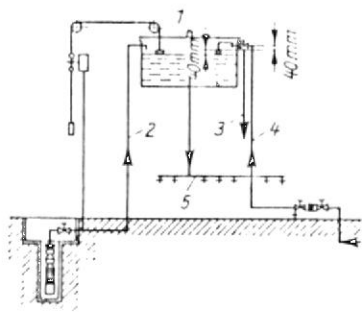
### 10.1.2 ABASTECIMIENTO DE LA RED DE AGUA DE LA CIUDAD.

Requiere una planificación minuciosa de las necesidades permanentes para que la red de la ciudad las cubra en todo momento. Es importante que las dimensiones de la acometida sean suficientes para evitar un descenso considerable de la presión.

### 10.1.3 ABASTECIMIENTO MIXTO.

Muchas plantas lecheras han resuelto el problema de las irregularidades del suministro mediante una conexión a la red local, como reserva de su abastecimiento propio, o bien procurando éste para complementar, en su caso, el agua que reciben de la red pública.

No se hará la conexión de la red de abastecimiento público a las conducciones del suministro propio, ya que se debe impedir que el agua del último tenga acceso a dicha red. Por eso, el agua del abastecimiento público ha de mezclarse con la del suministro propio en depósitos abiertos. figura (10.1)



- 1.- Entrada y salida del aire de ventilación
- 2.- Conducción de agua propia
- 3.- Rebosadero.
- 4.- Conducción de agua potable de la red pública
- 5.- Tubería de distribución.

Ref 22

FIGURA 10.1 Esquema de conexión de abastecimiento propio a una red pública de agua por medio de un depósito elevado.

## 10.2 TIPOS DE AGUA

En principio, toda el agua que se utiliza en la planta lechera será de tal calidad microbiológica, que los gérmenes contenidos en ella no puedan ejercer influencia alguna sobre la tecnología y los productos lácteos. Será incolora y carecerá de materias inorgánicas u orgánicas en suspensión. Además de ésto, reunirá determinados requisitos en lo que concierne al olor, sabor, temperatura y naturaleza química.

Los requisitos cualitativos que debe reunir el agua dependen de la aplicación que se le pretenda dar. Hemos de considerar:

- 1.- Agua para la producción.
- 2.- Agua de refrigeración.
- 3.- Agua para la limpieza.
- 4.- Agua de alimentación de las calderas.
- 5.- Agua para los locales sociales.



### 10.2.1 Agua para la producción

Se entiende por tal la que entra en contacto directo con los productos lácteos a la que forma parte de ella; por ejemplo, en caso de necesitar una reconstitución (como se explicó en la introducción) habrá que utilizar un filtro esterilizador ya que aunque el agua proveniente de la red de distribución de agua potable de la ciudad contiene a veces numerosos microbios, que pueden reaccionar en la leche.

Además es importante que el agua destinada para la producción presente una pureza química satisfactoria y, en particular contener muy pocos iones metálicos.

#### 10.2.2 Agua de refrigeración

Es la que se emplea para la refrigeración de la leche. Su calidad, será como la de la potable. Este tipo de agua llamada "agua templada" es utilizada después de haber cumplido su función refrigerante.

Es necesario que el agua de refrigeración esté siempre controlada de la concentración de los carbonatos ácidos, pues en caso contrario, producirían residuos en las paredes de los aparatos y tuberías.

#### 10.2.3 Agua para la limpieza

El agua que se utiliza para la limpieza de las máquinas y conducciones, tendrá la calidad de la potable.

Se puede economizar "agua fresca" si el agua templada que sale de los condensadores la empleamos para el enjuague de los bidones, limpieza general de equipos y tuberías por donde circula la leche.

Este tipo de agua debe reunir las siguientes condiciones:

- a.- La calidad inicial (antes de entrar a los condensadores) deberá corresponder a la del agua potable.
- b.- Deberá circular en el condensador por un sistema cerrado de tuberías.
- c.- Los recipientes en los que se deposite el agua al salir de los condensadores deben ser completamente cerrados.
- d.- El agua templada será desinfectada para todos los fines de limpieza con objeto de economizar agua fresca y de aprovechar la energía térmica que posee.

Los requisitos anotados no son indispensables cuando se trate de la limpieza de suelos.

#### 10.2.4 Agua de alimentación de las calderas

El agua que alimenta las calderas de vapor no se le exigen condiciones higiénicas especiales. Tampoco requiere atención alguna su contenido de nitratos y cloruros. No obstante, la dureza de ésta agua (contenido de carbono y sulfatos) deberá ser mínima.

El agua de alimentación de las calderas se somete frecuentemente a un tratamiento de ablandamiento para reducir su dureza. Estas sales son responsables de la formación de costras en las calderas, incrementan la viscosidad del agua, favorecen el arrastre de agua,

espuma, corrosión y ataque intergranular del metal que lo hace quebradizo. El tratamiento del agua de alimentación de las calderas se tratará en el numeral 10.3.

En la Tabla (10.1) se indican los requisitos que deben reunir el agua de alimentación de la caldera para una capacidad de 100 lb/pulg<sup>2</sup> de presión de operación.

TABLA 10.1

PH -----	10.5 a 11.5
ALCALINIDAD -----	340 - 885 ppm
CLORUROS -----	Para mantener el propio ciclo
FOSFATOS -----	30 - 60 ppm
SULFITOS -----	25 - 60 ppm
DUREZA T -----	0
DUREZA Ca -----	0
DUREZA Mg -----	0
HIERRO -----	menos de 5 ppm
SILICE -----	menos de 150 ppm

#### 10.2.5 Agua para los locales sociales

Los requisitos del agua para fines higiénicos y usos culinarios son iguales que los exigidos a la que se emplea en la ciudad con el mismo objeto.

Para poder atender las necesidades de agua en todos los servicios, es esencial reducir al mismo tiempo el consumo. Esto es posible en muchas secciones de la planta lechera tomando las siguientes medidas.

##### i) Economía del agua de refrigeración:

- a.) Empleando condensadores de evaporación o dispositivo de recuperación.
- b.) Aprovechando el agua de salida de los enfriadores para limpieza de bidones, limpieza de conducciones, tanques y máquinas, limpieza pública y de locales en todos los trabajos.

Se deberá disponer de sistemas para poder depositar toda el agua de salida de los refrigeradores.

ii) Economía en la limpieza:

- a.) Los restos de suciedad se deben en primer lugar sacar con cepillos y escobas. El agua servirá únicamente para remojar y lavar.
- b.) Instalación de válvulas en el extremo de las mangueras empleadas para la limpieza.
- c.) Cierre correcto de todos los grifos después de la toma de agua. Deben repararse inmediatamente los grifos que gotean.

iii) Recuperación del agua de condensación:

- a.) Recogida de todos los vapores condensados para emplearlos en la alimentación de las calderas.

10.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS

El agua, sobre todo la del abastecimiento propio debe someterse a tratamiento para dotarla de las propiedades cualitativas exigidas en cada caso. El tratamiento dependerá de la aplicación y de la cantidad de impurezas.

Se realiza en tres fases, según la suciedad mayor o menor del agua:

- a) Supresión de las materias flotantes y en suspensión.
- b) Supresión de las materias disueltas.
- c) Supresión de gérmenes.

#### 10.3.1 SUPRESION DE LAS MATERIAS FLOTANTES Y EN SUSPENSION.-

Esta fase del tratamiento del agua mejora sus propiedades físicas y se lleva a cabo por medio de una clasificación en pilas de sedimentación, seguida de filtración.

En la pila de sedimentación disminuye la velocidad de la corriente del agua, por cuya razón precipitan lentamente las materias flotantes y en suspensión (partículas vegetales y de tierra sin disolver).

Los componentes no disueltos que han escapado a la clarificación se retienen por medio de filtros de arena que consiste en arena de cuarzo con granos de 0.8 a 1.2 mm, formando capas de hasta 2 metros de altura.

Al cabo de algunos días se lava el filtro de agua haciéndola pasar en sentido opuesto.

### 10.3.2 SUPRESION DE LAS MATERIAS DISUELTAS

Es un tratamiento químico que consiste en la desgasificación, privación del hierro y reducción de la dureza. Las sustancias disueltas en cantidades superiores a las permitidas deberán eliminarse.

#### 10.3.2.1 Desgasificación

La corrosión localizada de tuberías, bombas y calderas de alta presión sobre todo debido a la acción del oxígeno y del ácido carbónico disuelto es peligrosa y puede conducir a la perforación de las paredes.

Para la desgasificación se pulveriza el agua o se le inyecta aire en contracorriente, el cual arrastra consigo principalmente el dióxido de carbono.

La desgasificación técnica consiste en la inyección de vapor en el agua para arrastrar el oxígeno y anhídrido carbónico.

#### 10.3.2.2 Privación del hierro y del manganeso

El contenido elevado de hierro y manganeso no sólo puede producir incrustaciones en toda la red de tuberías, sino alterar también el sabor del agua. Además, éstos minerales pueden ocasionar notables

defectos en los productos lácteos.

Cuando se utiliza agua telúrica casi todo el hierro y el manganeso están disueltos en forma bivalente como bicarbonatos.

La eliminación se verifica en dos fases:

- a.) Precipitación, es decir, conversión del hierro y el manganeso en forma insolubles. Aquí las sales de hierro están en estado ferroso y conviene transformarlas en sales férricas.

El tratamiento por aireación produce la precipitación en forma de coágulo de hidrato férrico, eliminable por filtración. También se utiliza la inyección de aire comprimido.

- b.) Separación de los compuestos de hierro y manganeso insolubles por filtración a través de grandes superficies.

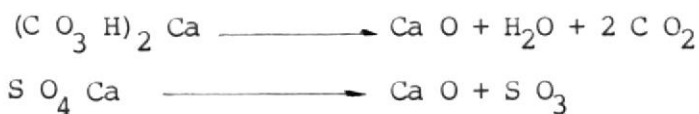
#### 10.3.2.3 Reducción de la dureza del agua

El contenido en sales de calcio, de magnesio y de hierro, particularmente los carbonatos ácidos y los sulfatos, hacen al agua dura. La dureza se mide en grados. Tabla (10.2)

TABLA 10.2

GRADOS DE DUREZA ( $^{\circ}$ dH)	1 - 8	8 - 16	16 - 24	más de 24
DENOMINACION DEL AGUA	fina	semidura	dura	muy dura

Para medir la dureza se reducen las sales disueltas de calcio y magnesio a una cantidad equivalente de CaO



El agua dura produce incrustaciones en las calderas de vapor y tuberías, tales como costras duras de carbonato cálcico  $\text{C O}_3 \text{ Ca}$ , carbonato magnésico  $\text{C O}_3 \text{ Mg}$ , sulfato cálcico  $\text{S O}_4 \text{ Ca}$  hidróxido férrico  $\text{Fe (OH)}_3$ .

Estas incrustaciones producen disminución de la transmisión de calor desde el cuerpo de las calderas al agua. La chapa puede ponerse entonces al rojo, lo que origina abolladuras y grietas. Por eso debe estar desmineralizada el agua de alimentación de las calderas.

La dureza total del agua puede ser: temporal y permanente.

La dureza temporal correspondiente a los carbonatos  $(\text{C O}_3 \text{ H})_2 \text{ Ca}$  puede suprimirse hirviendo el agua.

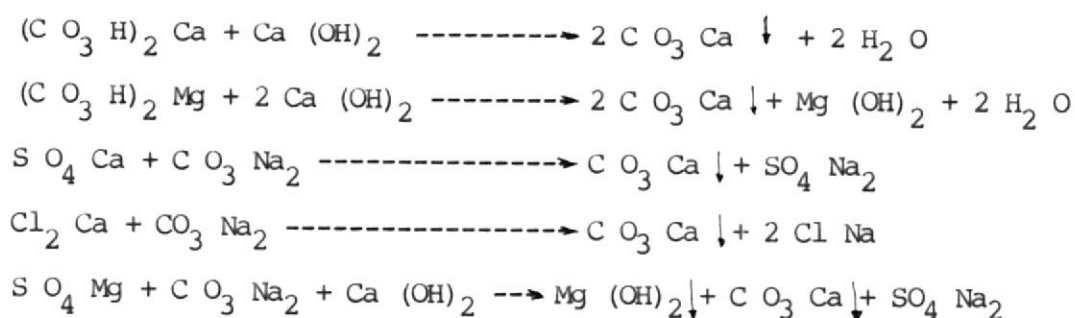


La dureza permanente debida a los sulfatos  $\text{S O}_4 \text{ Ca}$  y  $\text{S O}_4 \text{ Mg}$ , solo se elimina con agentes químicos. En la práctica suele suprimirse por dos procedimientos: Precipitación química de las sales o por intercambio de bases (wofatita)\*.

Precipitación química.- Al agua se añade cal apagada  $(\text{OH})_2 \text{ Ca}$  y carbonato sódico  $\text{C O}_3 \text{ Na}_2$ .

El  $\text{Ca} (\text{OH})_2$  desprende calcio y fija al mismo tiempo  $\text{C O}_2$ . De éste modo se evita la formación de ácido carbónico que corroe la chapa de las caldera.

El  $\text{C O}_3 \text{ Na}_2$  convierte los sulfatos cálcico y magnésico en sulfato sódico fácilmente soluble. Las sales se descomponen así:



\*Wofatitas son resinas artificiales

Para la desmineralización del agua de alimentación de las calderas se necesitan  $\text{Ca (OH)}_2 = 10 \text{ g/m}^3$  (dureza debida a los carbonatos y al magnesio).

$$\text{C O}_3 \text{ Na}_2 = 18.9 \text{ g/m}^3 \text{ (dureza restante).}$$

Como la operación se efectúa en un decantador es fácil separar los precipitados de  $\text{C O}_3 \text{ Ca}$  y de  $\text{Mg (OH)}_2$

El procedimiento de la cal con carbonato sódico es discontinuo y se emplea solamente en las industrias pequeñas.

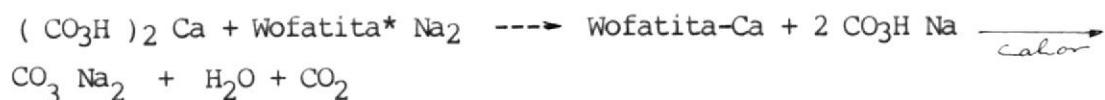
Intercambio de bases.- Las Wofatitas son resinas artificiales preparadas por la VEB Farbenfabrik de Wolfen. Su acción se basa en la propiedad de intercambiar los iones propios con los de otros compuestos, modificando, por tanto, el carácter de éstos.

Para la desmineralización se pone en contacto el agua con wofatita- $\text{Na}_2$  y en consecuencia se originan iones  $\text{Na}^+$ . Si entonces se hace pasar una corriente de agua caliza por el filtro cargado de iones  $\text{Na}^+$ , los de  $\text{Ca}^{++}$  se combina con la wofatita y los de  $\text{Na}^+$  con el resto  $\text{C O}_3 \text{ H}^-$  o con el  $\text{S O}_4^-$ .

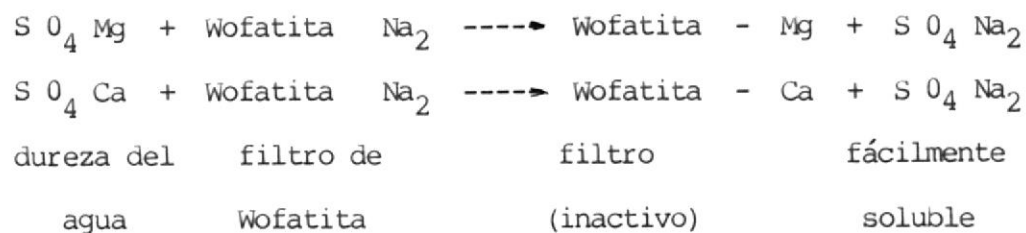
El filtro se satura de iones  $\text{Ca}^{++}$  o  $\text{Mg}^{++}$  al cabo de un cierto tiempo, los cuales no le permiten actuar con eficacia. Entonces se procede a su regeneración mediante lavados con una solución de  $\text{Cl Na}$

al 7%. En virtud de ello, se procede un nuevo intercambio entre los iones de  $\text{Ca}^{++}$  o  $\text{Mg}^{++}$  y los de  $\text{Na}^+$  y el lavado elimina las sales cálcicas y magnésicas que se forman.

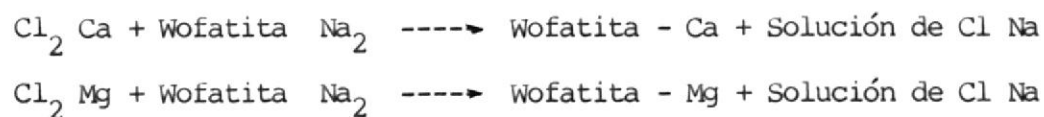
#### Dureza Temporal



#### Dureza Permanente



#### Regeneración



\*1 Litro de wofatita F puede extraer 15 g. de  $\text{C O}_3 \text{Ca}$  del agua y ceder iones de  $\text{Na}^+$ .

### 10.3.3 ELIMINACION DE LOS GERMENES

El agua debe privarse de gérmenes muy a menudo para que cumpla los requisitos cualitativos referentes a sus condiciones microbiológicas. La esterilización puede efectuarse de diversos modos:

- a.) Adición de cloro.
- b.) Adición de "cumasina".
- c.) Filtración del agua.
- d.) Irradiación del agua.

a.) Adición del cloro.- Los halógenos, particularmente el cloro tienen acción bactericida. Según la cantidad de sustancias orgánicas que contenga el agua, se le añaden 0.1 a 1,0 mg. de  $\text{Cl}_2$  por litro, el cloro se disuelve en poca agua y después se agrega la solución a la que se va a esterilizar. El componente más activo es el oxígeno cedido por el ácido hipocloroso  $\text{Cl OH}$  que se forma con el clorhídrico al añadir cloro al agua.



BIBLIOTECA

Hoy se usan más los hipocloritos en lugar del ácido hipocloroso, pues éste es muy agresivo para la instalación de esterilización. El contenido de cloro activo de hipoclorito sódico  $\text{Cl O Na}$  es de 150 a

170 g/l. El del hipoclorito cálcico  $(Cl O)_2 Ca$  se estima en 70-80 g/l.

La reacción se produce de la forma siguientes:



b.) Adición de cumasina.- La cumasina es un preparado de plata, en el cual, los iones de plata originados en la solución acuosa de los óxidos correspondientes son bactericidas.

Las aplicaciones de la cumasina están dadas en la tabla (10.2)

TABLA 10.3 APLICACIONES DE LA CUMASINA

PREPARADO	CANTIDAD	TIEMPO DE ACCION	APLICACION
Cumasina-NC	100 g/m <sup>3</sup>	6 horas por lo menos	Saneamiento de pozos, depósitos de reservas, recipientes y conducciones
Cumasina P-12	100 g/m <sup>3</sup>	6 horas por lo menos	Saneamiento de pozos cilindricos.
Cumasina activa (Compuesto activo de plata)	-----	30 minutos por lo menos	Saneamiento de pozos, esterilización de conducciones, depósitos y cisternas.

Ref (22)

c.) Filtración del agua.- Para mejorar las condiciones biológicas del agua se pueden emplear además filtros esterilizados. Estos filtros constan de varias secciones en los que se ajustan las bujías\*\* de tierra de diatómeas\*.

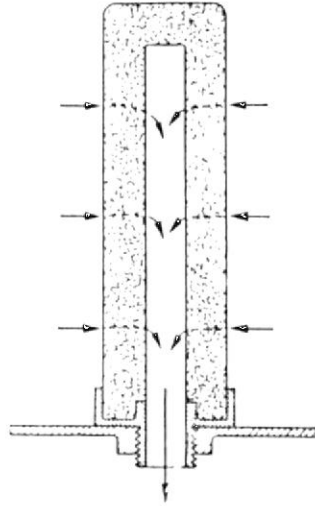
Fig (10.2)

El agua atraviesa dichas bujías de fuera a dentro. Después de cierto tiempo hay que extraerlas para su limpieza con cepillo y desinfectantes.

\*DIATOMEAS son algas unicelular que vive en el mar o en el agua dulce.

\*\* Bujías son filtros individuales colocados en diferentes secciones

FIGURA 10.2 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA BUJIA FILTRANTE



Ref 22

d.) Irradiación del agua.- La luz ultravioleta artificial se emplea cada vez más. Destruye no sólo los gérmenes sino también ciertos corpúsculos llamados esporos.

La irradiación se efectúa instalando lámparas UV (lámparas de vapor de mercurio) en los depósitos o conducciones de agua. La penetración de los rayos oscila entre 5 y 50 cm. según la cantidad de materias en suspensión.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La leche como materia prima de alto valor nutricional, suministrado por el sector lechero nacional y por Cooperativas Agrícolas de Producción en cantidades progresivamente crecientes, debe ser tratada y transformada por la industria lechera para obtener productos de primera calidad con el menor gasto posible y teniendo en cuenta las demandas del consumidor.

Se diseñó la planta lechera para que suministre una cantidad nominal diaria de 25.000 litros de leche higienizada, pues, representa un mínimo razonable para poder establecer un modelo realista, asegurando a la población un abastecimiento estable y continuado del alimento de primera necesidad. Además, se consideró como alternativa la reconstitución de los elementos componentes de la leche en caso de no completar con la cantidad mínima de leche para la distribución.

La iniciativa de implantar una industria lechera en el país está prácticamente garantizada ya que abastecería un macromercado disponible como aquellos sectores o regiones en donde aún no exista una industria lechera. Esto aseguraría ventajas económicas, además, el país se beneficiaría ya que por lo menos el 70% de la población del Ecuador estaría consumiendo leche higienizada y se evitarían muchas enfermedades producidas por el consumo de leche no saneada.

En lo que corresponde al diseño y cálculo de los sistemas térmicos que tiene mucha importancia en la planta lechera, éstos han sido realizados con la mayor objetividad posible y ceñidos a las normas de la ingeniería, tratando de obtener máxima seguridad y eficiencia de funcionamiento de cada equipo que compone el sistema para generación de vapor. Tal es así que:

a.) En la selección de bomba se han hecho ajustes con el fin de eliminar la cavitación en la succión, pues en caso que ésta exista ocasionaría graves problemas en su funcionamiento.

b.) En la instalación de trampas para los calentadores de agua se utilizó una trampa para cada calentador que es lo recomendable, pero también suele instalarse una trampa para que descargue dos calentadores que sería una solución tolerable y traería consigo ahorros económicos.

c.) Así mismo, en la selección de las unidades generadoras de vapor (calderas) también se impusieron límites para obtener una gran eficiencia y seguridad de funcionamiento.

Uno de los objetivos principales de ésta tesis ha sido la aplicación de medidas tendientes a la utilización más eficiente de los recursos energéticos tales como:



i) Optimización de la combustión; regulando una relación aire/combustible correcta y controlando los gases de escape para asegurar una correcta calibración de combustión.

ii) Supresión de fugas de vapor; para dicho efecto se hicieron análisis para obtener un buen trapeo, puesto que los mayores escapes de vapor generalmente ocurren en trampas de vapor defectuosas, mal instaladas o inapropiadas.

iii) En cuanto al aislamiento térmico; se seleccionó la lana de vidrio como aislante térmico por ser un material muy eficiente y para hallar el espesor económico se utilizó el método de "costo total mínimo", obteniendo así el mínimo posible de pérdidas de energía caloríficas así como de pérdidas de presión. Se considera como regla general que cada  $m^2$  no aislado en un sistema de 7  $kg/cm^2$  de presión, causa una pérdida aproximadamente de 0.1 galones de diesel por hora.

iv) Con respecto a la recuperación de condensado; ésta medida se justifica debido a su corta distancia desde el proceso hasta el tanque de alimentación. Los beneficios de ésta fueron ahorro de combustible y productos químicos para su tratamiento. En el diseño de la línea de retorno se dimensionó la tubería con un diámetro suficiente para conducir el doble del volumen de condensado que se produjo durante el arranque en frío de los equipo, asegurando así la

capacidad para transportar el condensado y revaporizado a las condiciones de precalentamiento y de régimen. La línea de retorno se instaló a la misma altura que la línea de distribución; ésto facilita la instalación y mantenimiento, aunque en muchos casos es preferible conducir el condensado por gravedad hasta un tanque colector a presión atmosférica y de allí bombearlo hasta el tanque de alimentación.

Por otro lado, también se tomó todos los cuidados técnicos en el diseño de la distribución de vapor, puesto que un incorrecto dimensionamiento hace que éste no llegue a la presión y temperatura deseada, además, puede provocar golpes de ariete y erosiones en la tubería.

Por último, se consideró de gran importancia el estudio del aprovisionamiento de agua a la industria lechera, tanto como el análisis y tratamiento de ésta según el uso a que se encuentra destinada. Además, se consideraron alternativas para economizar el consumo de agua en la planta lechera, puesto que como se requiere gran cantidad de agua su despilfarro resulta ser considerable.

Respecto a las recomendaciones se sugiere que es necesario que se complemente el estudio del sistema frigorífico, por ser un requerimiento esencial en la planta procesadora de leche, en que debe procurarse también que tanto el diseño de ésta como su funciona-

miento se ajusten a las más elevadas normas de higiene.

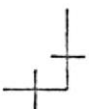
Finalmente ésta tesis va dirigida a las entidades y organismos responsables de la preparación de proyectos para industrias lácteas, tales como: INIAP (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria), CENDES (Centro de Desarrollo Industrial del Ecuador), y otros, así como a las personas encargadas de diseñar, construir y poner en funcionamiento las plantas lecheras que se precisen en regiones en donde aún no exista una industria lechera, procurando que estén distribuidas por toda la República.



NUDO UNIVERSAL



TEE



CODO DE 90 GRADOS



REDUCTOR DE TAMAÑO



FILTRO



VALVULA DE COMPUERTA



VALVULA DE RETENCION



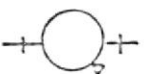
CODO HACIA ABAJO



CODO HACIA ARRIBA



TRAMPA DE VAPOR



REDUCTOR DE PRESION



LINEA DE VAPOR



LINEA DE CONDENSADO

## B I B L I O G R A F I A

- 1 BACHMAN Y MURRAY, Manual de Plomería y Tubería, C.E.C.S.A. 12<sup>ava</sup> Impresión, 1982.
- 2 Catálogo No. 60 de valvula Crane, CRANE Co.- 300 Park Av.- New York 10022.
- 3 DEPARTAMENTO DE COMERCIALIZACION PECUARIA. Situación de las Industrias lácteas en el país, Quito (Ecuador).
- 4 FAIRES. Termodinámica, Mexico, 2<sup>o</sup> edición, Editorial Unión Tipográfica, 1978.
- 5 FARRAL A.W. Ingeniería para la Industria lechera, Herrero.
- 6 FOX Mc DONALD. Introduction to Fluid Mechanics, 2<sup>o</sup> edición, U.S.A., 1976.
- 7 GARCIA EDUARDO A. Conceptos Básicos sobre Selección de Bombas para Calderos, Editorial Series VZ, Guayaquil (Ecuador), 1981.

- 8 HALL H. S. Fábricas Lecheras Experimentales Estandarizadas, colección FAO, Roma, 1976.
- 9 HICKS TILER, Bombas, su selección y aplicación, CIA. Editorial Continental S.A. de C.V. México, CECSA, Vigésima Impresión
- 10 IGOR J. KARASSIK, WILLIAM C. KRUTZSCH, WARREN H. FRASER, JOSEPH P. MESSINA. Manual de Bombas, México, McGraw Hill, primera edición, 1983.
- 11 Industrial Energy Auditing Manual, Energy Conservation Services Program.
- 12 KARASSIK Y CARTER, Bombas Centrífugas, selección operación y mantenimiento, Mexico, C.E.C.S.A., Decimosegunda impresión, Noviembre de 1983.
- 13 MANUAL DE INGENIERIA (Cleaver Brooks), Packaged Fire Tube Boilers, Cleaver Brooks - P.O. Box 421, Milwaukee Wisconsin



- 14 MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico, octava edición, Mc Graw Hill.
- 15 Mc Graw-Hill Publication, Design of Heat Exchangers.
- 16 ORGANIZACION DE ALIMENTO Y AGRICULTURA DE LAS NACIONES UNIDAS. Pasteurización de la leche. Planificación, montaje, operación y control, Roma, Italia.
- 17 PALTRINIERI G. Taller de Leche, Manuales para Educación Agropecuaria, Mexico, 2<sup>o</sup> edición, 1983 Febrero.
- 18 RAUL LASCANO, Copiado de Análisis de Plantas, Espol, Guayaquil (Ecuador).
- 19 SHIELDE D. Calderas Tipo, características y su funcionamiento, CECSA.
- 20 SOROA Y PINEDA. Industria Lácteas.

- 21 SPIRAX - SARCO. Nuevo Curso Avanzado de Vapor.
- 22 SPREER E. Lactología Industrial, Acribia, Zaragoza, 2<sup>o</sup> edición, 1975
- 23 TARRAGONA J. Manual de Plantas de Pasteurización, Acribia, Zaragoza.
- 24 Técnicas y Análisis para Conservar Energía en la Industria, Instituto Nacional de Energía.
- 25 VARGAS ZUÑIGA A. Calderas Industriales y Marinas, Editorial Serie VZ, Guayaquil (Ecuador), 1984.
- 26 VARGAS ZUÑIGA A. Montaje de Maquinaria Industrial Tomo 1, Editorial Series VZ, Guayaquil (Ecuador), 1982
- 27 VEISSEVRE R. Lactología Técnica, Acribia, Zaragoza.