

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Selección e Instalación de Vapor para una Fábrica de Yogurt
y de Crema de Leche”**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Dennys David Díaz Vera

Wilson Iván Cauja Vilema

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y en especial al Ing. Ángel Vargas, Director de Proyecto de Graduación, por su invaluable ayuda

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ángel Vargas Z.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE GRADUACIÓN

Dr. Alfredo Barriga R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto de Graduación, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Dennys David Díaz Vera.

Wilson Iván Cauja Vilema.

RESUMEN

En nuestro medio son pocas las empresas que se dedican al proceso de Fabricación de Yogurt y Crema de Leche en gran escala, a pesar de que nuestro País es un importante productor de leche y sus derivados.

El vapor es uno de los elementos esenciales en el proceso de elaboración del Yogurt y Crema de Leche, el objetivo del proyecto es precisamente calcular un sistema de vapor de acuerdo a los requerimientos del producto a procesar.

Para el estudio de este Proyecto se realizó primeramente un estudio de factibilidad de comercialización del Yogurt y de Crema de Leche y la importancia en la alimentación que ellos tienen. Además se hizo una recolección de datos estadísticos de la producción y consumo anuales del Yogurt y de la Crema de Leche en el Ecuador con sus proyecciones futuras y así se determinó la cantidad de producto a procesar.

Luego se determinó los requerimientos de vapor total según las proyecciones a futuro y de acuerdo a eso se seleccionó el tipo de caldera y sus dispositivos de control que se empleará para la producción de Yogurt y Crema de Leche.

También se analizó y se calculó el sistema de agua de alimentación y el respectivo tratamiento que se debe de hacer para obtener un buen funcionamiento, asimismo se analizó el sistema de combustible, las bombas, y el tipo de quemador.

Luego se realizó el cálculo de las tuberías de vapor, de retorno de condensado y la selección de las trampas de vapor y su posición en el circuito.

Finalmente, se hizo un análisis de costos de los equipos y accesorios del sistema de vapor.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XIV
SIMBOLOGÍA.....	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. GENERALIDADES DEL YOGURT Y CREMA DE LECHE.....	3
1.1. Historia del Yogurt y Crema de Leche.....	3
1.2. Tipos de Yogurt y Crema de Leche.....	5
1.3. Clasificación del Yogurt y Crema de Leche.....	7

CAPITULO 2

2. FACTIBILIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DEL YOGURT Y CREMA DE LECHE.....	8
2.1. El Aporte Nutritivo en la Alimentación del Yogurt y de la Crema de Leche.....	9
2.2. Estados del Producto para su Comercialización.....	16
2.2.1. Fraccionamientos Comunes del Yogurt.....	16
2.2.2. Empaques y Etiquetados.....	17
2.3. Estadística de la Producción del Yogurt y Crema de Leche en el Ecuador.....	18
2.4. Proyecciones Futuras.....	22

CAPITULO 3

3. PROCESAMIENTO DEL YOGURT Y CREMA DE LECHE A NIVEL INDUSTRIAL.....	27
3.1. Descripción del Proceso de Producción.....	27
3.2. Diagrama de Flujo del Proceso.....	35

CAPITULO 4

4. SELECCIÓN DE LAS CALDERAS.....	37
------------------------------------------	-----------

4.1. Vapor Requerido para uso de Pasteurización en el Proceso del Yogurt y Crema de Leche.....	38
4.2. Vapor Requerido en el Intercambiador de Placas en el Proceso de Elaboración del Yogurt.....	40
4.3. Vapor Requerido en la Marmita en el Proceso de Elaboración del Yogurt.....	40
4.4. Balance Térmico para la Elaboración de Yogurt y Crema de Leche.....	41
4.4.1. Balance Térmico en el Proceso de Yogurt.....	43
4.4.2. Análisis del Vapor Requerido en el Proceso de la Crema de Leche.....	45
4.5. Consumo de Vapor Total en el Procesamiento del Yogurt y Crema de leche.....	46
4.6. Presión de Trabajo del Generador de Vapor.....	47
4.7. Clasificación de las Calderas.....	48
4.8. Selección de la Caldera a Utilizarse.....	51
4.9. Análisis con los Diversos Factores de Selección.....	55

CAPITULO 5

5. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	59
---------------------------------------------------------------	----

5.1. Diseño del Tanque de Agua de Alimentación.....	60
5.2. Cálculo y Selección de la Bomba de Alimentación de Agua.....	63
5.2.1. Operación Continua o Intermitente.....	64
5.2.2. Temperatura del Agua a la Succión.....	65
5.2.3. Capacidad.....	66
5.2.4. Presión de Descarga.....	67
5.2.5. Carga Neta de Succión Positiva (NPSH).....	76

CAPITULO 6

6. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.....	86
6.1. Combustibles Usados en la Caldera.....	86
6.2. Selección del Combustible a Utilizarse.....	88
6.3. Demanda del Combustible en la Caldera.....	90
6.4. Dimensionamiento del Tanque de Servicio Diario de Combustible.....	90
6.5. Cálculos y Selección de la Bomba de Combustible.....	95
6.6. Selección del Tipo de Quemador.....	98
6.7. Dimensionamiento de la Chimenea.....	99

CAPITULO 7

7. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN LA CALDERA.....	110
--------------------------------------------------------	-----

7.1. Control de la Combustión.....	111
7.2. Control del Nivel del Agua de Alimentación.....	114
7.3. Seguridad de Llama.....	116
7.4. Descripción de los Controles Comunes de las Calderas.....	118

CAPITULO 8

8. CALCULOS DE TUBERIAS DE VAPOR, DE RETORNO DE CONDENSADO Y SELECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR.....	125
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

8.1. Parámetros Necesarios para Dimensionar Tuberías de Vapor.....	126
8.2. Distribución de las Tuberías.....	128
8.3. Cálculos y Dimensionamientos de las Tuberías de Vapor.....	129
8.3.1. Cálculos de las Tuberías de Vapor Principal.....	134
8.3.2. Cálculos de las Tuberías de Vapor Secundarias.....	135
8.4. Cálculos y Dimensionamientos de las Tuberías de Retorno de Condensado.....	141
8.5. Descripción del Aislamiento de la Tubería de Vapor y de Retorno de Condensado.....	152
8.6. Clasificación de los Aislantes.....	154
8.7. Selección del Aislamiento y Espesor para la Tubería de Vapor y de Retorno de Condensado.....	155
8.8. Trampas de Vapor.....	158
8.9. Aplicaciones Industriales de las Trampas de Vapor.....	159
8.10. Tipos de Trampas de Vapor.....	160
8.11. Selección de Trampas de Vapor.....	161

CAPITULO 9

9. TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	166
----------------------------------------------	-----

9.1. Problemas Derivados en la Utilización del Agua en Calderas...	168
9.1.1. Formación de Depósitos.....	169
9.1.2. Corrosión por Oxidación del Metal.....	170
9.1.3. Fragilización Cáustica.....	171
9.1.4. Formación de Espumas.....	171
9.2. Cálculos y Selección del Ablandador de Agua.....	172
9.3. Control del Tratamiento del Agua de la Caldera.....	175

CAPITULO 10

10. ANÁLISIS DE COSTOS.....	178
------------------------------------	------------

CAPITULO 11

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	185
------------------------------------------------	------------

APÉNDICES.

BIBLIOGRAFÍA.

ABREVIATURAS

°C	Grado Centígrado
°F	Grado Faraday
°R	Grado Ranking
Bar	Presión en Bares
Btu/gal	Energía Calorífica por Galones
Btu/H	Energía Calorífica por Hora
Btu/lbm	Energía Calorífica por Libra Masa
CC	Caballo Caldera
cda	Cucharada
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de Carbono
FE	Factor de Evaporación
ft	Pie
ft/min	Pie por Minuto
ft ³	Pie Cúbico
Gal	Galones
GPG	Granos por Galón
GPH	Galones por Hora
GPM	Galones por Minutos
H	Hora
Hf _s	Fricción en la Succión
HP	Horse Power
h _t	Pérdidas en Tuberías
H _t	Pérdidas Totales
HZ	Frecuencia
In	Pulgada
Kcal	Kilocaloría
Kcal/gr	Kilocaloría por Gramo
Kcal/h	Kilocaloría por Hora
Kcal/kg°C	Kilocaloría por Kilogramo – Grados Centígrado
Kg	Kilogramo
Kg/cm ²	Kilogramo por Centímetro Cuadrado
Kg/h	Kilogramo por Hora

Kg/m^3	Kilogramo por Metro Cubico
L	Litro
L/h	Litro por Hora
Lb/ Pie^3	Libra por Pie Cúbico
Lb/h	Libra por Hora
Lb/h	Libra por Hora
Lb/s	Libra por Segundo
$\text{Lbf pie/lb } ^\circ\text{R}$	Libra Fuerza – Pie por Libra – Grados Ranking
lbf	Libras Pie por Segundo Cuadrado
Lts/min	Litro por Minuto
m	Metro
m/s	Metros por Segundo
m^2	Metro Cuadrado
m^3	Metro Cubico
ml	Mililitro
mm	Milímetro
NPSH	Carga Neta de Succión Positiva
$(\text{NPSH})_A$	Carga Neta de Succión Disponible
$(\text{NPSH})_R$	Carga Neta de Succión Requerida
PP_a	Pérdidas de Presión en Accesorios
Ppm	Parte por Millón
PP_t	Pérdidas de Presión en Tuberías
P_S	Presión de Succión
Psi	Libra por Pulgada Cuadrada
pulg	Pulgadas
P_V	Presión de Vapor del Líquido
$R_{\text{gases/diesel}}$	Relación de Gases de Escape
Sp.gr	Densidad Relativa del Líquido
TDH	Altura Total Dinámica
T_E	Temperatura Absoluta del Aire
T_O	Temperatura Absoluta del Aire
$\text{W/}^\circ\text{C m}^2$	Vatio por Grado Centígrado - Metro Cuadrado

SIMBOLOGÍA

\dot{m}	Flujo Másico
μ	Viscosidad Dinámica
A	Área
C_p	Calor Específico
D	Diámetro de la Tubería
f	Coefficiente de Fricción de Reynolds
g	Gravedad
H_{fg}	Entalpia
K	Coefficiente de Perdidas Locales
Q	Caudal
Q_{comb}	Caudal de Combustible
R	Constante Específica del Aire
Re	Reynolds
T	Tiempo
v	Velocidad
V	Voltaje
Z	Altura
Δt	Diferencia de Temperatura
η	Eficiencia
Π	3.1416
ρ	Densidad

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1	Estructura Porcentual de la Producción Nacional de la Leche por Regiones.....19
Figura 2.2	Producción de Leche a Nivel Nacional desde 2000-2008.....25
Figura 4.1	Proceso para la Elaboración del Yogurt.....42
Figura 4.2	Relación de Presión – Capacidad para Seleccionar el tipo de Caldera a Usar.....54
Figura 5.1	Tanque Seleccionado para el Agua de Alimentación.....63
Figura 5.2	Bomba tipo Turbina.....66
Figura 5.3	Curvas Hidrostáticas (Bomba tipo Turbina de 1750 rpm, 5 HP)..... Apéndice D
Figura 5.4	Diagrama de Moody para Determinar el Factor de Fricción f en Tuberías.....Apéndice G
Figura 5.5	Nomograma de Hazenwilliams.....Apéndice H
Figura 5.6	Rugosidad Relativa e/D para Tuberías.....Apéndice I
Figura 6.1	Tanque de Combustible para Diesel Oil.....94
Figura 6.2	Bomba de Engranajes.....95
Figura 6.3	Balance de Masa en el Hogar.....104
Figura 7.1	Leva Dosificadora de Combustible.....122
Figura 8.1	Distribución de Tuberías para el Sistema de Vapor.....129
Figura 8.2	Diagrama para Dimensionar Tuberías de Vapor.....Apéndice K
Figura 8.3	Diagrama para Calcular Caídas de Presión.....Apéndice L
Figura 8.4	Diagrama para Dimensionar Tuberías de Retorno de Condensado.....Apéndice M
Figura 8.5	Diagrama Caudal Vs. Caída de Presión (Pérdidas de Carga.).....Apéndice N
Figura 8.6	Esquema de la Línea de Retorno de Condensado.....152
Figura 8.7	Capas de la Lana de Vidrio (Cañuela Amplio Rango).....157
Figura 8.8	Diagrama de Trampas de Vapor.....165
Figura 9.1	Ablandador de Agua.....174

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Comparación entre Distintos Tipos de Alimentos.....	11
Tabla 2	Componentes Nutritivos Fundamentales del Yogurt.....	12
Tabla 3	Variación de los Componentes según el Tipo del Yogurt.....	13
Tabla 4	Informe Nutricional de la Crema de Leche.....	15
Tabla 5	Denominación para la Comercialización del Yogurt.....	16
Tabla 6	Principales Industrias de Elaboración de Lácteos.....	20
Tabla 7	Producción Anual de Leche por Regiones.....	24
Tabla 8	Producción a Futuro de Litros de Leche.....	26
Tabla 9	Selección de Calderas para Cremerías.....	45
Tabla 10	Requerimientos de Vapor para el Procesamiento de Yogurt y Crema de Leche.....	47
Tabla 11	Dimensiones para el Tanque de Agua de Alimentación.....	Apéndice C
Tabla 12	Características de Tramos Caldera-Bomba / Alimentación.....	68
Tabla 13	Pérdidas por Fricción en Tuberías de Acero, Cédula 40, para Agua.....	Apéndice E
Tabla 14	Pérdidas Locales para Accesorios.....	Apéndice F
Tabla 15	Propiedades del Diesel Oíl.....	89
Tabla 16	Diámetro de Tanque de Combustible Según su Capacidad.....	93
Tabla 17	Calidad de Combustión % CO_2 en los Humos.....	102
Tabla 18	CO_2 Exceso de Aire y Pérdidas por la Chimenea.....	103
Tabla 19	Sistemas de Control de Nivel de Agua.....	115
Tabla 20	Características de las Tuberías para Fluidos.....	Apéndice J
Tabla 21	Características de los Tramos de las Tuberías de Vapor Principales y Secundarias.....	140
Tabla 22	Caudales de Vapor de los Equipos con su Respectivo Factor de Régimen.....	147
Tabla 23	Diámetros de Tubería para Retorno de Condensado.....	151
Tabla 24	Guía para Seleccionar Trampas de Vapor.....	Apéndice O
Tabla 25	Factores de Seguridad para Trampas de Vapor.....	161
Tabla 26	Impurezas más Comunes en el Agua de Alimentación de las Calderas.....	168

Tabla 27	Características del Ablandador Culligan HI-FLO 22 WS-90.....	175
Tabla 28	Límites Recomendados para los Constituyentes del Agua que se usan en Calderas.....	177
Tabla 29	Costos de Maquinarias, Equipos y Accesorios.....	179

ÍNDICE DE PLANOS

		Pág.
Plano 1	Esquema de la Planta de Vapor para la elaboración de Yogurt y de Crema de Leche.....	Apéndices
Plano 2	Vista frontal de la Planta.....	Apéndices

INTRODUCCIÓN

El Yogurt es un producto lácteo fermentado, levemente ácido, de cultivo semisólido que es producido por homogeneización y pasteurización. El Yogurt, es un producto efectivo para restaurar y mantener el funcionamiento normal de nuestro equilibrio intestinal, rico en vitaminas B. Este producto tiene una gran variedad de sabores, y es barato. El Yogurt se ha popularizado en muchos países alrededor del mundo. Mucha gente con problemas digestivos consume yogurt para ayudar al tratamiento de este desorden. Otros lo consumen para mantener ó conservar su salud ya que una cierta cantidad proporciona nutrientes. Además, el Yogurt es producido a bajo costo lo que es un beneficio para los consumidores y productores. Por supuesto, los muchos beneficios del Yogurt son, de poca importancia para muchos consumidores, ya que ellos lo consumen por su agradable sabor.

El Yogurt tuvo sus orígenes en Turquía. Los procedimientos usados para la producción en masa fueron desarrollados en naciones occidentales. La importancia de la planta descrita en este estudio no sólo es el bajo costo para instalarla, sino también para operarla. Ambas en conjunto con el crecimiento de la popularidad internacional del Yogurt, hace de este estudio una inversión

razonable para cualquier emprendedor que desee establecer una producción capaz de generar un rápido retorno de la inversión, así como también un flujo estable de ganancias para los años siguientes.

En América latina se llama Crema de Leche a la nata, menos en México que se la llama nata como en España. La crema de leche es un alimento graso o gordura que se saca de la leche, tiene un cuerpo espeso y es de color crema, se forma dejando la leche en reposo luego de su ordeño o bien utilizando sistemas de centrifugado. La capa se forma dejando la leche en reposo entre 48 a 72 horas y es materia grasa que flota sobre la superficie de la leche; es lo que se dice emulsión de grasa en agua o suero lácteo.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES DEL YOGURT Y CREMA DE LECHE.

1.1. Historia del Yogurt y Crema de Leche.

El origen del Yogurt se sitúa en Turquía aunque también hay quien lo ubica en los Balcanes, Bulgaria o Asia Central. Se cree que su consumo es anterior al comienzo de la agricultura. Los pueblos nómadas transportaban la leche fresca que obtenían de los animales en bolsas generalmente de piel de cabra. El calor y el contacto de la leche con la piel de cabra propiciaban la multiplicación de las bacterias ácidas que fermentaban la leche. La leche se convertía en una masa semisólida y coagulada. Una vez consumido el fermento lácteo contenido en aquellas bolsas, estas se volvían a llenar de leche fresca que se transformaba nuevamente en leche fermentada gracias a los residuos precedentes. El

Yogurt se convirtió en el alimento básico de los pueblos nómadas por su facilidad de transporte y conservación.

Aunque sin comprender la base científica que explicase su acción, numerosos pueblos utilizaban estas bacterias hace ya miles de años para la elaboración de alimentos modificados, que podían conservarse mucho más tiempo, y estaban dotados de texturas y sabores característicos, distintos de los del producto original.

La Crema de Leche es una sustancia, de consistencia grasa y tonalidad blanca o amarillenta, que se encuentra de forma emulsionada en la leche recién ordeñada o cruda (es decir, en estado natural y que no ha pasado por ningún proceso artificial que elimina elementos grasos).

Está constituida principalmente por glóbulos de materia grasa que se encuentran flotando en la superficie de la leche cruda; por esto se dice que es una emulsión de grasa en agua. Esta capa se puede apreciar dejando cierta cantidad de leche cruda (sin homogeneizar ni descremar) en un recipiente: se puede observar cómo una delgada capa toma forma

en la superficie. No debe confundirse con la nata que se observa al llevar a hervor la leche, con la que no tiene nada que ver.

Esta película se separa mediante un proceso de centrifugado, y se envasa por separado para su uso en gastronomía. De acuerdo a la proporción de grasa que contiene, se distinguen varias clases de crema; las más ligeras se emplean para mezclar con el café o en la confección de sopas y salsas. Las más espesas, que alcanzan hasta un 55% de contenido graso, se utilizan para elaborar crema batida o chantilly (producto de batirla hasta atrapar burbujas de aire en ella), utilizada para decoración en repostería. Además, la crema extremadamente grasa puede batirse para elaborar mantequilla, que consiste básicamente en la grasa láctea aislada.

1.2. Tipos de Yogurt y Crema de Leche.

De acuerdo con sus características físico-químicas, se tiene:

- Yogur tradicional: tiene la textura firme con la consistencia de budín.

- Yogur batido: si cortado el coagulo después del enfriado la textura queda más cremosa, que cuando cortada caliente. Cuanto mayor el tenor de sólidos totales, mas cremoso será el yogurt.

Las cremas se definen en primer lugar por su contenido de materia grasa (M.G.). La crema "liviana" o delgada tiene entre 18 y 34 % de M.G., la crema "normal", que se consume habitualmente, tiene un tenor graso de entre 34,1 y 50 %, y la crema "doble" posee un contenido superior al 50 % de materia grasa.

Según el proceso de elaboración utilizado, se distinguen varios tipos de crema:

- a) La crema pasteurizada: (la más difundida).
- b) La crema esterilizada: es sometida al proceso térmico de Ultra Alta Temperatura.
- c) La crema acidificada: es aquella que se obtiene por acidificación biológica.
- d) La crema chantilly: es aquella a la que se adiciona azúcar y se somete a la incorporación de aire por batido.

1.3. Clasificación del Yogurt y Crema de Leche.

La clasificación del yogurt se realiza en función de los aditivos añadidos, entre los cuales se tiene:

- Yogurt natural (ausencia de sabor).
- Yogurt con frutas.
- Yogurt con aromas (presentan el gusto de la fruta pero no la contienen).
- Yogurt azucarado (con sacarosa).
- Yogurt edulcorado (con edulcorantes).

La crema de leche se clasifica de acuerdo a su contenido graso:

- **Crema o Nata doble** (más del 50% de materia grasa); generalmente se la usa para montar con o sin azúcar, obteniendo la crema batida o crema chantilly.
- **Crema o Nata** (más de un 30% de materia grasa)
- **Crema o Nata liviana** (más de 12% y menos de 30% de materia grasa), la de menor tenor graso se usa en la cocina para salsas, elaborar cremas, espesar guisos o gratinados.

CAPÍTULO 2

2. FACTIBILIDAD DE COMERCIALIZACION DEL YOGURT Y CREMA DE LECHE.

El Yogurt es un producto lácteo obtenido mediante la fermentación bacteriana de la leche. Si bien se puede emplear cualquier tipo de leche, la producción actual usa predominantemente leche de vaca.

La producción del lácteo se ubica detrás de la leche y el queso. Según el Centro de la Industria Láctea (CIL), en el País se producen 150000 litros diarios de Yogurt. De ese mercado, la empresa Toni tiene el 60 por ciento del mercado, después están Pura Crema, Alpina, Kiosko, Chivería, Reyogur, Miraflores, entre las principales.

El CIL también apunta que el consumo per cápita es de 4 litros anuales.

La Crema de Leche es un producto no muy comercializado en nuestro medio, debido a que no se ha hecho una buena campaña estratégica publicitaria, y este proyecto es el de dar a conocer las bondades que tiene la crema de leche, tanto en vitamina D como el de enriquecer el sabor de sus comidas, al igual que todos los lácteos posee una gran cantidad de calcio.

2.1. El Aporte Nutritivo en la Alimentación del Yogurt y de la Crema de Leche.

En la actualidad se discuten los efectos sobre la salud que puede tener el Yogurt con bacterias vivas y el denominado Yogurt pasteurizado después de la fermentación.

Durante la última década se han llevado a cabo numerosos estudios de investigación realizados por todo el mundo con el objeto de evaluar las propiedades del Yogurt tradicional y demás leches fermentadas sobre el organismo.

Al ayudar a estabilizar la flora del intestino y el conjunto de microorganismos que pueblan el sistema digestivo, el Yogurt favorece la absorción de las grasas, combate las diarreas y el estreñimiento, facilita la asimilación de nutrientes, disminuye el colesterol y reduce los efectos negativos de los antibióticos.

De esta forma, al ser el Yogurt un alimento que además de nutrir, aporta beneficios para la salud, se lo cataloga dentro de lo que llaman alimentos "funcionales". Son productos modificados o con agregados de componentes con efecto terapéutico probado.

El Prebiótico es un alimento no digerible que mejora la salud del huésped porque fermenta en el colon y estimula el crecimiento o la actividad de un grupo de bacterias a ese nivel; es decir, actúa como nutriente de la flora colónica, de modo que se puede considerar que el prebiótico es el alimento de la flora gastrointestinal, porque de él se nutren las bífido-bacterias y lactobacilos. El prebiótico también sirve de nutriente de los probióticos.

Los Probióticos, son microorganismos no patógenos que sobreviven a la digestión normal y llegan vivos al colon, donde también tienen un efecto positivo de promoción de salud en el huésped. Restituyen la flora normal alterada por diversas causas.

Los Simbióticos es una combinación de pre y probiótico.

En las siguientes tablas se hace una comparación entre los distintos tipos de alimentos, los componentes nutritivos del Yogurt y la variación de los componentes según el tipo del Yogurt.

TABLA 1
COMPARACIÓN ENTRE DISTINTOS TIPOS DE ALIMENTOS

CONTENIDO ENERGÉTICO PROMEDIO	
Alimentos a base de:	Valor Kcal/g
Lípido	9
Proteína	4
Glúcido	4
Yogurt	1.6

TABLA 2
COMPONENTES NUTRITIVOS FUNDAMENTALES DEL YOGURT

YOGURT DE LECHE VACUNA ENTERA	
Contenido	Porcentaje
Agua	87
Lípidos	3.9
Proteínas	3.5
Glúcidos	3.6
Ácidos orgánicos	1.15
Cenizas	0.7
Fibras	0
Parte digerida después de una hora	91

TABLA 3
VARIACION DE LOS COMPONENTES SEGÚN EL TIPO DEL YOGURT

YOGURT DE LECHE VACUNA ENTERA				
	Entero	Semidescremado	Descremado	Con Frutas
	%	%	%	%
Agua	87	89	8	81
Proteínas	3.5	3.4	3.3	2.8
Lípidos	3.9	1.7	0.9	3.3
Glúcidos	3.6	3.8	4	12.6
Ácidos orgánicos	1.15	1.2	1.2	1.2
Cenizas	0.7	0.72	0.75	0.7
Fibras	0	0	0	0
Contenido energético	63 Kcal	43 Kcal	36 Kcal	88 Kcal

La Crema de Leche es una crema 100% natural que se obtiene al descremarse la leche fresca de vaca. Su contenido de grasa es del 25%.

La crema es un alimento con muchas calorías, puede tener menor tenor de grasa como en el caso de la más liviana, pero conjuntamente con el aporte elevado de proteínas y la lactosa de la leche, la hace inadecuada para las personas que están cuidando su dieta. La presencia de grasas saturadas eleva los índices de colesterol como los triglicéridos en sangre. En cuanto a las vitaminas contribuye aportando vitaminas A en un porcentaje muy alto y vitamina D en menor proporción. Por supuesto existe la presencia de calcio como en todos los lácteos.

Los nutrientes de la crema son un fiel reflejo de los nutrientes presentes en la materia grasa de la leche usada como materia prima. El aroma y el sabor característicos se deben principalmente a los componentes grasos de la leche. Cualquier alteración en el gusto y en el aroma serán, sobre todo, resultado de la oxidación y lipólisis de los glóbulos grasos de la leche cruda en la fase anterior a la pasteurización.

Ventajas de la Crema de Leche:

- Su textura aporta untuosidad.
- Enriquece el sabor y la textura de los platos.

- Aumenta el valor energético de los platillos.

Información Nutricional de la Crema de Leche.

En la tabla 4 se muestra un informe nutricional de la Crema de Leche de acuerdo a un porcentaje en gramos.

TABLA 4
INFORME NUTRICIONAL DE LA CREMA DE LECHE

Nutrientes	Por 100g	Por porción: 2 cda. (25 g)	%VD*
Energía/ Calorías (Kcal/ KJ)	1045/250	260/63	
Grasas Total (g)	25.2	6.3	9.7%
Proteínas (g)	2.8	0.7	1.4%
Carbohidratos (g)	4.1	1.0	0.3%
Minerales/Cenizas (g)	0.6	0.2	--
Vitamina A (UI)	880	220	4.4%

*** Los porcentajes de valores diarios (%VD) están basados en una dieta de 2000 calorías.**

2.2. Estados del Producto para su Comercialización.

En la tabla 5 se muestran las diferentes denominaciones para la comercialización del Yogurt.

TABLA 5
DENOMINACIÓN PARA LA COMERCIALIZACIÓN DEL YOGURT

Nº	DENOMINACIÓN	DETALLE
1	Botella de 1 Litro	Todos los sabores
2	Botella de 1/2 Litro	Todos los sabores
3	Vaso de 200 ml.	Todos los sabores
4	Vaso de 120 ml.	Todos los sabores
5	Vaso con confles	Todos los sabores
6	Fundas	Todos los sabores

2.2.1. Fraccionamientos Comunes del Yogurt.

Para la comercialización del Yogurt se utiliza los diferentes fraccionamientos:

- 4 Kg.
- 1 Kg.
- 250 ml.

- 150 g.
- 85 g.

2.2.2. Empaques y Etiquetados.

Se presentan en:

- Fundas
- Botellas de plásticos
- Vasos de polipropileno.
- Tipo tetra pack, brik pack.

En la etiqueta debe de constar:

- Nombre del producto, porcentaje de grasa.
- Marca registrada.
- Razón social de la empresa fabricante.
- Masa neta en gramos.
- Aditivos añadidos (especificación natural y artificial)
- Fecha de fabricación y de expiración.
- Número de registro sanitario.
- Ciudad de origen.

- Forma de conservación.
- Número de lote.

2.3. Estadística de la Producción del Yogurt y Crema de Leche en el Ecuador.

La producción lechera se ha concentrado en la región interandina, donde se ubican los mayores hatos lecheros. Esto se confirmó según los datos del censo Agropecuario del año 2000, donde el 73% de la producción nacional de la leche se la realiza en la Sierra, aproximadamente un 19% en la Costa y un 8% en el Oriente y Región Insular.

En la figura 2.1, se muestra en porcentajes la producción anual de leche por regiones.

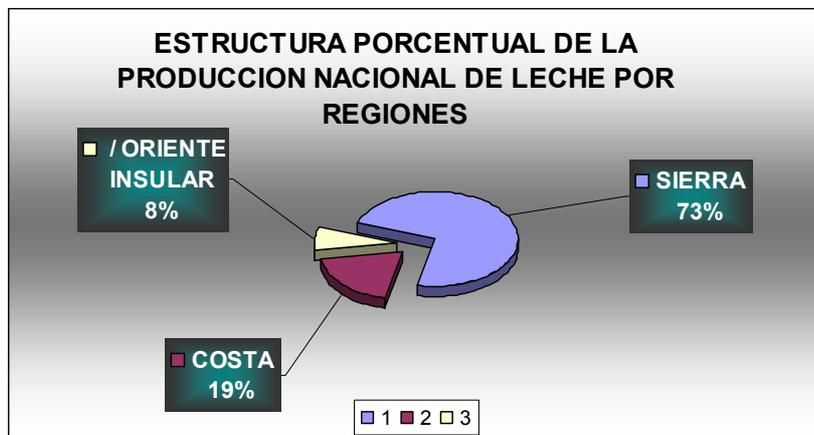


FIGURA 2.1. ESTRUCTURA PORCENTUAL DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE LA LECHE POR REGIONES.

La leche fluida disponible se destina en mayor proporción como leche cruda (sin pasteurizar) en un 76%, en segundo lugar se dirige a la industria, el 23 % es destinado a la alimentación de terneros y un 11% es leche que no se recoge y que se destina a la elaboración de productos artesanales como quesos.

La rama de elaboración de productos lácteos ha sido una de las más dinámicas dentro de la industria manufacturera, con una tasa de crecimiento promedio anual del 6,3% para el periodo 2000-2004, frente a la evolución de la industria manufacturera que fue apenas del 2,8% y

mucho mayor que la evolución del sector agrícola durante ese periodo que creció en apenas el 2,6%.

Para el año 2005 el Banco Central del Ecuador estimó una tasa de crecimiento para el sector lácteo en el orden del 3,5%.

En el País existen varias industrias que se dedican a la elaboración de lácteos, en la tabla 6, se sitúan las siguientes.

TABLA 6
PRINCIPALES INDUSTRIAS DE ELABORACIÓN DE LÁCTEOS

(Millones de litros anuales)		
INDUSTRIAS	UBICACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA
PASTEURIZADORA CARCHI	TULCÁN	17
PRODUCTOS GONZÁLEZ	SAN GABRIEL	15
PASTEURIZADORA FLORALP	IBARRA	7
NESTLE (INEDECA)	CAYAMBE	61
LEANSA	SANGOLQUI	9

HERTOB C.A (MIRAFLORES)	CAYAMBE	19
PASTEURIZADORA QUITO	QUITO	55
GONZÁLEZ CIA. LDTA	CAYAMBE	15
PASTEURIZADORA LECOCEM (PARMALAT)	LASSO	37
PASTEURIZADORA INDULAC	LATACUNGA	66
PASTEURIZADORA LACTODAN	LATACUNGA	16
DERILACPI	SALCEDO	3
PROCESADORA MUU	SALCEDO	2
INLECHE (INDULAC)	PELILEO	20
PORLAC	RIOBAMBA	9
LÁCTEOS SAN ANTONIO	AZOGUEZ	16
PROLACEM	CUENCA	13
COMPROLAC	LOJA	12
INDULAC	GUAYAQUIL	43
NESTLE BALZAR	BALZAR	9
VISAENLECHE (INDULAC)	LA CONCORDIA	15
PLUCA	GUAYAQUIL	4
LA FINCA	LATACUNGA	4
CHIVERIAS	GUAYAQUIL	4
LA AVELINA	LATACUNGA	37
Total		504
Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (www.sica.gov.ec)		

El total de la capacidad instalada podría elevarse a unos 510 millones de litros anuales. Todo esto nos habla de un déficit de industrialización de la leche, es decir, que se producen 3500 millones de litros al año y solo se industrializa 510 millones. Habiendo en la Costa un mayor déficit ya que para este año se producen 674 millones de litros de leche, y solo se industrializa 60.4 millones de litros, siendo solo esto el 12 % de la industrialización nacional de la leche.

Esto nos indica que si existe en la Costa la cantidad suficiente de leche para instalar una planta Pasteurizadora, debido a eso se realiza este análisis.

2.4. Proyecciones Futuras.

Según los datos estadísticos de la Tabla 7, para el periodo comprendido entre el 2000 y 2008, la demanda a nivel nacional de leche presenta una tendencia prácticamente creciente, lo cual es un indicador de la existencia de mercado por abastecer. Ahora para poder presidir las demanda a futuro a partir del 2009 es necesario basarse en ecuaciones

matemáticas, para ello se debe trazar una curva de regresión de la Producción de Litros versus Años que mejor se ajuste a dichos datos.

El objetivo fundamental del trazado de la curva de regresión es encontrar una ecuación matemática que represente a dicha curva y con la cual se pueda estimar la demanda de producción de leche para elaborar Yogurt y Crema de Leche, asumiendo que permanecen inalterables todos los factores que ejercen influencia sobre la demanda del producto.

TABLA 7
PRODUCCIÓN ANUAL DE LECHE POR REGIONES
PERIODO 2000 - 2008 (Miles de litros)

AÑO	PRODUCCIÓN NACIONAL BRUTA 1/	PRODUCCIÓN SIERRA	PRODUCCIÓN COSTA	PRODUCCIÓN ORIENTAL E INSULAR
2000	1,286,625	939,236	244,459	102,93
2001	1,343,237	980,563	255,215	107,459
2002	1,378,161	1,006,058	261,851	110,253
2003	1,529,759	1,116,724	290,654	122,381
2004	2.536.991	1.852.003	482.028	202.959
2005	2.575.167	1.879.872	489.282	206.013
2006	2,558.957	1,888.092	493.455	177.409
2007	2,992.771	2,208.086	576.835	207.849
2008	3,500.129	2,582328	674.350	243.450

Graficando los datos de la tabla 7, se puede observar que estos datos tienden a ajustarse a una función exponencial de la forma $y = ae^{bx}$. Las constantes a y b pueden ser determinadas mediante técnicas de ajuste de curvas, siendo: $a = 1 \times 10^6$, $b = 0.1566$ entonces la ecuación de regresión va a permitir presidir la demanda de los próximos años de la producción de leche de la siguiente manera.

$$y = 1 \times 10^6 e^{0.1566x}$$

Donde:

Y: Demanda de Producción de leche

X: Años (x=1 para 2000, x=2 para 2001, y así sucesivamente)

En la figura 2.2 se muestra el grafico que genera esta ecuación de regresión. Extrapolando ya sea directamente de la curva o con la ecuación, se puede estimar la demanda futura de producción de leche para varios años, estos se muestran en la tabla 8.

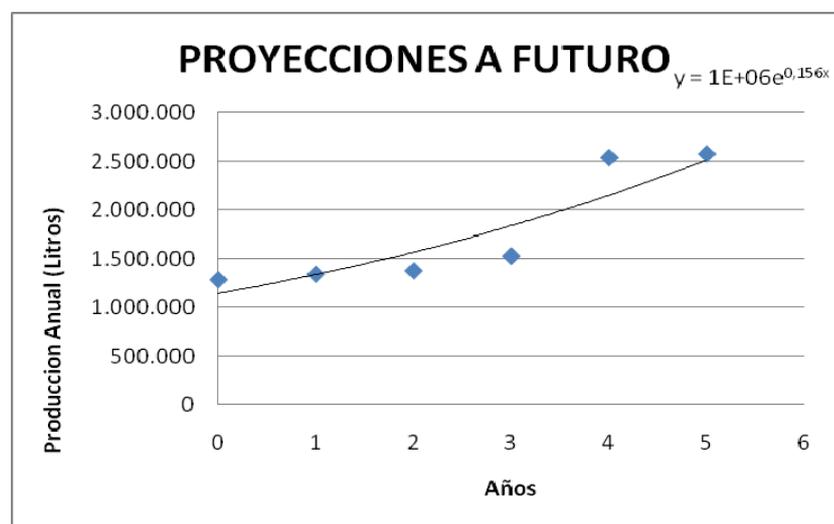


FIGURA 2.2. PRODUCCIÓN DE LECHE A NIVEL NACIONAL DESDE 2000-2008

TABLA 8
PRODUCCIÓN A FUTURO DE LITROS DE LECHE

AÑOS	PRODUCCIÓN ANUAL
2009	4,093'498.000
2010	4.787'460.000
2011	5.599'067.000
2012	6.548'264.000
2013	7.658'376.000

Para este proyecto, de acuerdo a la producción futura de leche en cuatro años, el cálculo para la producción anual de leche en nuestro País será de 7660 millones de litros anuales aproximadamente, según fuentes del MAGAP.

Para esta planta que procesará 80.000 litros diarios de Yogurt, estimando una jornada de trabajo de 24 horas diarias, considerando que se trabajará de lunes a viernes, es decir 5 días a la semana (260 días al año), entonces esta planta producirá 20,800.000 litros por año.

CAPÍTULO 3

3. PROCESAMIENTO DEL YOGURT Y CREMA DE LECHE A NIVEL INDUSTRIAL.

3.1. Descripción del Proceso de Producción.

Proceso de Producción del Yogurt.

Aunque se ha utilizado leche de diferentes especies animales para la fabricación del Yogurt, en la industrialización se utiliza básicamente leche de vaca. Puede utilizarse, leche entera, leche parcialmente descremada, leche descremada o crema de leche. La leche más apropiada es la que posea un contenido elevado de proteínas por razón de su alta densidad. A pesar de ello no es necesario elegir una leche con una proporción elevada de extracto seco para la producción de Yogurt, pues aquel puede ser aumentado más tarde por medio de otros

productos como, leche descremada concentrada, leche en polvo descremada, suero, lactosa.

Para la elaboración del Yogurt se deben de realizar muchos procesos, los cuales detallan a continuación:

Recepción en fábrica de la leche cruda: es un punto de control en donde deben realizarse verificaciones inmediatas de la calidad acordadas de la leche cruda.

Filtración: se realiza la filtración de la leche para evitar el ingreso de partículas gruesas al proceso.

Estandarización y preparación de la mezcla: se regula el contenido de grasas y sólidos no grasos. Se agrega azúcar de acuerdo al tipo de producto a elaborar, y se regula el contenido de extracto seco mediante el agregado de leche en polvo, concentración por las técnicas de filtración a través de membranas o sustracción de agua por evaporación.

Desodorización: en la elaboración de Yogurt, una leche con un contenido incrementado de aire conlleva una serie de desventajas. Sobre todo al añadir la leche en polvo se produce una notable incorporación de aire. En este caso es conveniente desodorizar la leche en un depósito al vacío. Los efectos que se persiguen son los siguientes:

- Mejorar la estabilidad del gel de yogurt incrementando la viscosidad.
- Eliminar las sustancias aromáticas y sápidas indeseadas.
- Incrementar los efectos de la homogeneización.
- Reducir los riesgos de que se queme la leche durante el calentamiento en el cambiador de placas.

La desodorización se realiza a una temperatura de 70-75 °C y a una presión de 70-80 KPa. Cuando se incrementa el extracto seco por el método de evaporación se consigue un grado suficiente de desodorización.

Homogenización: En la práctica de la elaboración de Yogurt se homogeniza muchas veces la leche higienizada al objeto de impedir la formación de nata y mejorar el sabor y la consistencia del producto.

La homogeneización reduce el tamaño de los glóbulos grasos, pero aumenta el volumen de las partículas de caseína. A consecuencia de esto se produce un menor acercamiento entre las partículas, en el proceso de coagulación, lo que se traduce en la formación de un coágulo más blando. Para evitar este fenómeno se suele realizar la homogeneización de la nata o la homogeneización en caudal parcial; técnicas éstas que no alteran la estructura de la caseína.

Pasteurización: Por principio, el Yogurt se ha de calentar por un procedimiento de pasteurización autorizado. Para que el yogurt adquiera su típica consistencia no sólo es importante que tenga lugar la coagulación ácida, sino que también se ha de producir la desnaturalización de las proteínas del suero, en especial de la β -lactoglobulina. Como es sabido, esto se produce a temperaturas aproximadas a 60°C, consiguiéndose los mejores resultados de

consistencia (en las leches fermentadas) a una temperatura entre 85 y 95°C. El tratamiento térmico óptimo consiste en calentar a 90°C y mantener esta temperatura durante 15 minutos.

Esta combinación temperatura/tiempo también se emplea en la preparación del cultivo y es muy habitual en los procedimientos discontinuos de fabricación de Yogurt. En los procedimientos de fabricación continua se suele mantener esta temperatura de 95/96°C sólo durante un tiempo de 5 minutos con el fin de conseguir un mejor aprovechamiento tecnológico de la instalación.

Muchas fábricas aplican temperaturas mayores a 100°C. Esta práctica no es aconsejable debido a que no consigue incrementar el efecto, pero puede provocar la desnaturalización de la caseína, lo que se traduce en una reducción de la estabilidad del gel ácido.

Las proteínas desnaturalizadas del suero, por el contrario, limitan la sinéresis del coágulo y reducen por tanto la exudación de suero. Es un punto crítico de control, pues es el punto donde se eliminan todos los

microorganismos patógenos siendo indispensable para asegurar la calidad sanitaria e inocuidad del producto.

1er Enfriamiento: es un punto de control porque asegura la temperatura óptima de inoculación, permitiendo la supervivencia de las bacterias del inóculo. Como se mencionó, se enfría hasta la temperatura óptima de inoculación (42-45°C) o generalmente hasta unos grados por encima y luego es enviada a los tanques de mezcla.

Inoculación: es un punto de control porque la cantidad de inóculo agregado determina el tiempo de fermentación y con ello la calidad del producto. Como se dijo antes se buscan las características óptimas para el agregado de manera de obtener un producto de alta calidad en un menor tiempo, de 2 a 3% de cultivo, 42 y 45°C, y un tiempo de incubación de 2:30 a 3 horas.

Incubación: El proceso de incubación se inicia con el inóculo de los fermentos. Se caracteriza por provocarse, en el proceso de fermentación láctica, la coagulación de la caseína de la leche. El

proceso de formación del gel se produce unido a modificaciones de la viscosidad y es especialmente sensible a las influencias mecánicas. En este proceso se intenta siempre conseguir una viscosidad elevada para impedir que el gel pierda suero por exudación y para que adquiera su típica consistencia. Se desarrolla de forma óptima cuando la leche permanece en reposo total durante la fermentación.

La mayoría de los procedimientos de elaboración son, por esta razón, de tipo discontinuo en cuanto al proceso de fermentación. Según el producto a elaborar y el tipo de instalación se van a poder realizar la incubación y la fermentación de las siguientes maneras:

- En los envases de venta al por menor (Yogurt consistente).
- En tanques de fermentación (Yogurt batido y Yogurt para beber).

Es un punto de control ya que, determinada la cantidad de inóculo y la temperatura óptima de crecimiento, queda determinado el tiempo y se debe controlar junto con la temperatura para no generar un exceso de ácido láctico.

Proceso de Producción de la Crema de Leche.

La Crema de Leche es el producto obtenido por la separación de la grasa de la leche.

Puede haber distintas clases de cremas según sus contenidos de grasa, sólidos no grasos y acidez; las cremas de consumo tienen alrededor de 30% de grasa, 7.5% de sólidos no grasos, una acidez no mayor de 1%.

Hay también cremas ácidas, con una acidez entre 2 y 5% de ácido láctico, y cremas ligeras o medias cremas, que tienen menos porcentaje de grasa.

La leche se encuentra en forma de glóbulos y pueden separarse pues no están disueltos en el plasma o lactosuero y, además, porque son menos densos que la fase acuosa.

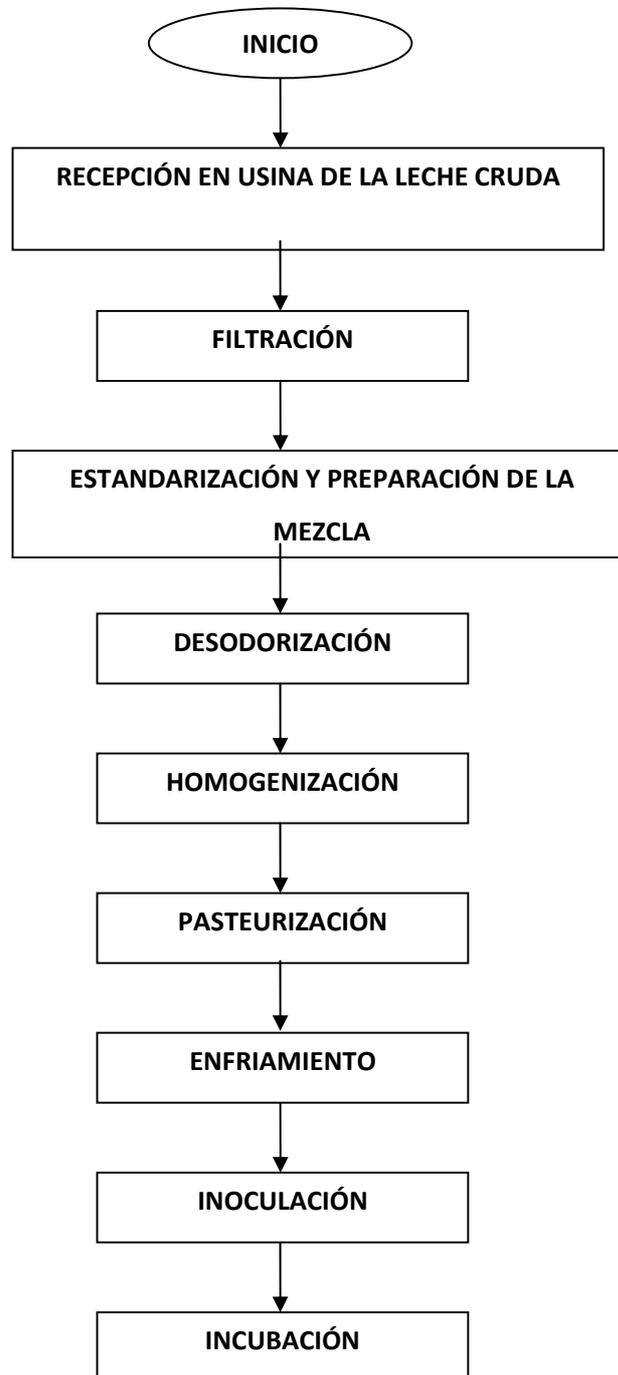
Para la elaboración de crema la leche puede pasteurizarse primero a 95°C durante 15 ó 20 segundos, luego enfriarse a 60 - 65°C, descremarse, y pasteurizarse por separado a la crema a 95°C durante 15 ó 20 segundos, para luego ser enfriada a 21°C ó a 7 u 8°C.

Otra manera de hacer el tratamiento sería calentar primero la leche a 60-65°C, descremar luego y regresar la leche descremada al pasteurizar para ser tratada a la temperatura normal para destinarla a leche de consumo, en tanto la crema separada se pasteuriza a 95°C por 12 - 20 segundos.

Este tratamiento de temperatura elevada para la crema, es para eliminar lipasos, cuya presencia pueda provocar rancidez en la crema.

3.2. Diagrama de Flujo del Proceso.

El siguiente diagrama muestra el proceso de producción del Yogurt



CAPÍTULO 4

4. SELECCIÓN DE LAS CALDERAS.

El generador de vapor o caldera, es una máquina de vital importancia para el proceso de elaboración de Yogurt y Crema de Leche, pero esta a su vez es complementada con equipos, maquinarias y accesorios que se necesitarán para completar el circuito de vapor del proceso de fabricación de estos alimentos.

Considerando que la vida útil estimada de la caldera es de 25 años, es necesario hacer un análisis de los diferentes factores que se deben de considerar para efectuar una correcta selección de las mismas.

Como en toda planta industrial, lo primero que se debe de tomar en consideración para determinar la capacidad de la caldera es precisamente la demanda de vapor que existe en el proceso.

Otro factor muy importante que se debe de considerar es la Presión de Vapor que se requiere en el proceso térmico en los equipos en donde se vaya a utilizar el vapor proveniente de la caldera.

Para la selección de la caldera, debe ser tal que esta funcione y preste el servicio de la manera más eficiente.

4.1. Vapor Requerido para Uso de Pasteurización en el Proceso del Yogurt y Crema de Leche.

Existen diversos tipos de Pasteurizadores, siendo los más comunes los de placas y los tubulares, pero para la elaboración de Yogurt y Crema de Leche se utiliza los Pasteurizadores de placas, el cual se lo describe a continuación.

Pasteurizadores de Placas.

Se usa para la pasteurización en continuo de alimentos no envasados, especialmente para leche y zumos de frutas (alimentos líquidos, poco viscosos). Con estos se pueden llegar a tratar aproximadamente 100.000 litros/h.

Se integra dentro de una instalación constituida por distintas etapas dispuestas en serie.

Se ha decidido que el Pasteurizador para la elaboración del Yogurt debe de tener las características de poder trabajar bajo una carga de flujo de 4.000 litros por hora a una temperatura de 90°C.

Para la Pasteurización en la Crema de Leche se va a requerir de pailas con chaquetas de vapor con una presión de vapor de 7 Kg/cm² (100Psi) y un calentamiento de 15.6 °C a 40.5 °C.

4.2. Vapor Requerido en el Intercambiador de Placas en el Proceso de Elaboración del Yogurt.

En este proceso se calienta la leche hasta una temperatura de 60°C para una carga de flujo de 4.000 litros por hora; esto se lo hace para poder mantener la leche almacenada por un determinado tiempo.

4.3. Vapor Requerido en la Marmita en el Proceso de Elaboración del Yogurt.

La marmita es un equipo que sirve para aplicar calor a un determinado producto, por medio de vapor de agua a una presión moderada, en una industria pequeña o artesanal, esta puede ser reemplazada por una olla de doble camisa. La marmita tiene en el fondo una camisa de doble fondo que está en contacto con el cuerpo de la marmita, donde se almacena el vapor de agua, y por medio de conducción, transfiere calor hacia el interior de la marmita. Debe de existir tuberías para el ingreso del vapor de agua, así como para el retorno del vapor condensado.

Para esta planta, se tendrá 2 marmitas con una capacidad de 5000 litros cada una, y una presión de vapor de 50 Psi, el cual mantiene el Yogurt a 40°C por un tiempo de 3 horas.

4.4. Balance Térmico para la Elaboración de Yogurt y Crema de Leche.

El balance térmico consiste en la determinación de las cargas caloríficas expresadas en unidades de potencia (Kcal/h ó Caballos Caldera (C.C)) en cantidades de vapor (Kg/h ó lb/h).

Para la elaboración del Yogurt la Caldera suministra el vapor al Pasteurizador, al Intercambiador de Placas y a las Marmitas.

Mientras que para la elaboración de la Crema de Leche solo en el proceso de Pasteurizado se utiliza vapor.

En la figura 4.1 se hace un esquema del proceso de elaboración del Yogurt.

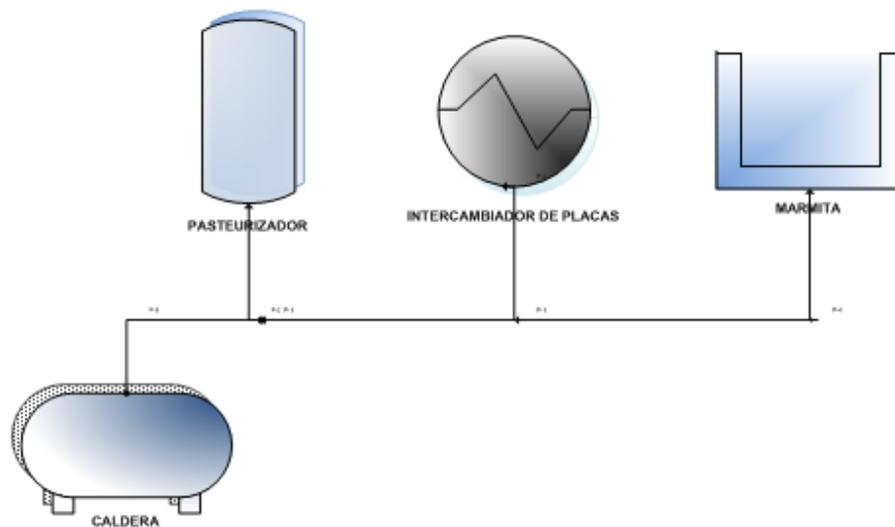


FIGURA 4.1: PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DEL YOGURT

Las pérdidas por radiación y convección natural son del 10% de la carga térmica de cada equipo cuando estos se encuentran aislados correctamente y del 20% cuando no poseen ningún aislamiento térmico.

Se tiene por objetivo operar a bajo costos operativos, el interés es ahorrar dinero evitando pérdidas innecesarias en los equipos, por lo que se considera que estos se encuentran aislados al 10% de la carga térmica, y para la elaboración de crema se debe de adicionar las pérdidas por transporte de vapor hacia las chaquetas que es del 1% y

las pérdidas por intercambio de calor con otras máquinas cercanas que también es del 1%.

4.4.1. Balance Térmico en el Proceso de Yogurt.

Pasteurizador.

$$\dot{m} = \frac{Q \times \rho \times C_p \times \Delta T}{h_{fg}}$$

$$\dot{m} = \frac{4000 \text{ l/h} \times 1030 \text{ Kg/m}^3 \times 0.9 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \times (90 - 60)^\circ\text{C}}{891.7 \text{ BTU/Lbm}}$$

$$\dot{m} = 225.2 \text{ Kg/h}$$

Intercambiador de placas.

$$\dot{m} = \frac{Q \times \rho \times C_p \times \Delta T}{h_{fg}}$$

$$\dot{m} = \frac{4000 \text{ l/h} \times 1030 \text{ Kg/m}^3 \times 0.9 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \times (60 - 40)^\circ\text{C}}{891.7 \text{ BTU/Lbm}}$$

$$\dot{m} = 419 \text{ Kg/h}$$

Marmitas.

$$\dot{m} = \frac{V \rho c_p \Delta T}{t x h_{fg}}$$

$$\dot{m} = \frac{5000 \text{ l} \times 1030 \text{ Kg/m}^3 \times 0.9 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \times (40 - 4)^\circ\text{C}}{3 \text{ h} \times 891.7 \text{ BTU/Lbm}}$$

$$\dot{m} = 112.55 \text{ Kg/h}$$

Para la elaboración del Yogurt se tiene 1 Pasteurizador de 4000 l/h, 1 Intercambiador de Placas de 4000 l/h, y 2 Marmitas de 5000 litros. Entonces el valor de vapor total requerido para la elaboración del Yogurt es de **869 Kg/h ó 55.45 C.C.**

4.4.2. Análisis del Vapor Requerido en el Proceso de la Crema de Leche.

De la tabla 9, obtenida del libro Calderas Industriales y Marinas del autor Ing. Ángel Vargas Zúñiga (tabla 6.1), haciendo una interpolación se logra obtener los caballos calderas para calentar 6 TN (6000 Kg.) de Crema de Leche, el valor es de **19.93 C.C.**

TABLA 9
SELECCIÓN DE CALDERAS PARA CREMERÍAS.

Cantidad de crema (Kg)	Caballos Calderas (C.C)
630	3.2
1820	6.3
3400	12.0
4220	14.5
6350	21.0

Debido a las pérdidas por transporte de vapor hacia las chaquetas que es del 1% y las pérdidas por intercambio de calor con otras

máquinas cercanas que también es del 1%. Se tiene que el consumo total de vapor para la elaboración de la Crema de Leche es de **20.32 C.C.**

4.5. Consumo de Vapor Total en el Procesamiento del Yogurt y Crema de Leche.

El vapor requerido para elaborar Yogurt y Crema de Leche, es utilizado en la etapa de Pasteurización, en los Intercambiadores de Placas, y en las Marmitas.

En la tabla 10 se presentan los requerimientos de vapor por equipo para procesar 80.000 litros por día de Yogurt y 6 toneladas de Crema de Leche.

TABLA 10
REQUERIMIENTOS DE VAPOR PARA EL PROCESAMIENTO DE YOGURT Y
CREMA DE LECHE.

EQUIPO	DEMANDA DE VAPOR
Pasteurizador (Yogurt)	14.38 C.C
Pasteurizador (Crema de Leche)	20.32 C.C
Intercambiador de placas (Yogurt)	26.77 C.C
Marmitas (Yogurt)	14.38 C.C
TOTAL	75.85 C.C

Se tiene por objetivo operar a bajo costos operativos, por lo que se considera que estos se encuentran aislados al 10% de la carga térmica, entonces la carga total requerida para todo el sistema es de **83.44 C.C.**

4.6. Presión de Trabajo del Generador de Vapor.

Los generadores de vapor son recipientes cerrados y a medida que se va generando más vapor dentro de este recipiente, más espacio se necesita, por lo que tiene que comprimirse. El vapor por este motivo, se expande en todas las direcciones ejerciendo así presión sobre las

paredes del generador y sobre la superficie del agua, a esta presión se la conoce como presión de vapor o de trabajo.

Los generadores de vapor de alta presión trabajan a 150 Psig. Si se desea una presión menor lo recomendable es colocar un banco reductor de presión, pero en el lugar en donde se requiere dicha presión más no a la salida de la caldera. Debe evitarse trabajar con presiones menores que la del diseño, debido a que esto puede causar la formación de burbujas del lado del agua en el caldero, estas incrementan su tamaño y reducen el espacio destinado para el vapor, esto ocasiona una aceleración en la salida, por lo que puede causar desgaste en las válvulas próximas al generador de vapor, y un dimensionamiento mayor de las tuberías principales, por el contenido de humedad que arrastraría el vapor.

4.7. Clasificación de las Calderas.

Al hacer la clasificación de los generadores de vapor, se trata de establecer las principales características de los diversos tipos de instalaciones que se necesitan para obtener vapor.

Se podría establecer la clasificación de las calderas bajo las siguientes bases:

- a)** Por la posición de las calderas.
 - Verticales.
 - Horizontales.

- b)** Por el número de pasos o retornos.
 - Un paso.
 - Dos pasos.
 - Tres pasos.
 - Cuatro pasos.

- c)** Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua.
 - Calderas de tubos de agua (Acuatubulares).
 - Calderas de tubos de fuego (Piro tubulares).

- d)** Por los métodos de circulación de agua.

- Circulación natural.
 - Circulación libre.
 - Circulación acelerada.
 - Circulación forzada.
 - Recirculación forzada.
- e)** Por la presión de trabajo.
- Calderas de alta presión (a partir de 20 Kg/cm²).
 - Calderas de baja presión (inferiores a 20 Kg/ cm²).
- f)** Por la disponibilidad de los tubos.
- Sin tubos.
 - Con tubos.
- g)** Por la disposición de los tubos.
- De tubos rectos.
 - De tubos inclinados.
 - De tubos curvos.

h) Por la energía consumida.

- Energía calorífica proporcionada por gases de escape.
- Energía eléctrica.
- Energía química proporcionada por los diversos combustibles.

4.8. Selección de la Caldera a Utilizarse.

La selección de la caldera a utilizarse debe de hacerse una vez analizados todos los factores de selección.

Un caballo caldera se define como la producción de 15.65 Kg/h de vapor saturado a 100°C utilizando agua de alimentación a 100°C.

Como el agua de alimentación ingresa a la caldera a una presión ligeramente mayor que la presión de operación y a una temperatura de 80°C, menor que la temperatura de saturación correspondiente a la presión de operación, es por eso que se va a necesitar de calor

adicional (calor sensible) para calentar el agua hasta obtener líquido saturado.

Este calor adicional es calculado por medio de tablas (Apéndice A), en donde se involucra un factor de evaporación FE, que depende de las condiciones de presión de operación de la caldera y de la temperatura del agua de alimentación; para este caso, 150 Psig y 80°C. Este factor de evaporación se define como.

$$FE = \text{Evaporación nominal} / \text{Evaporación real.}$$

La evaporación real se refiere a la demanda de vapor en todos los puntos de consumo en el proceso, éste valor ya fue calculado anteriormente y es de 83.44 C.C, con 80°C y 150 Psig, se obtiene del apéndice A un factor de operación de 1.083.

Por lo tanto, la evaporación nominal o capacidad nominal deberá ser de:

Capacidad Nominal = (83.44) (1.083)

Capacidad Nominal = 90.36 C.C.

Es decir el Generador de vapor a elegirse deberá ser capaz de transferirle 90 C.C al agua de alimentación que entra a una temperatura de 80°C.

Siguiendo como guía la figura 4.2, se tiene que para una presión de 150 Psig (10.54 kg/cm²) y una demanda de vapor de 90 C.C (1408.5 Kg/h).

Con el propósito de tener siempre vapor en la planta, se debe de considerar un 30 % de vapor adicional, y por cuestiones de seguridad y mantenimiento se recomiendan utilizar dos calderas de 75% de capacidad de la demanda pico. Por lo tanto se va a seleccionar dos calderas de 60 C.C pirotubular Cleaver Brooks.

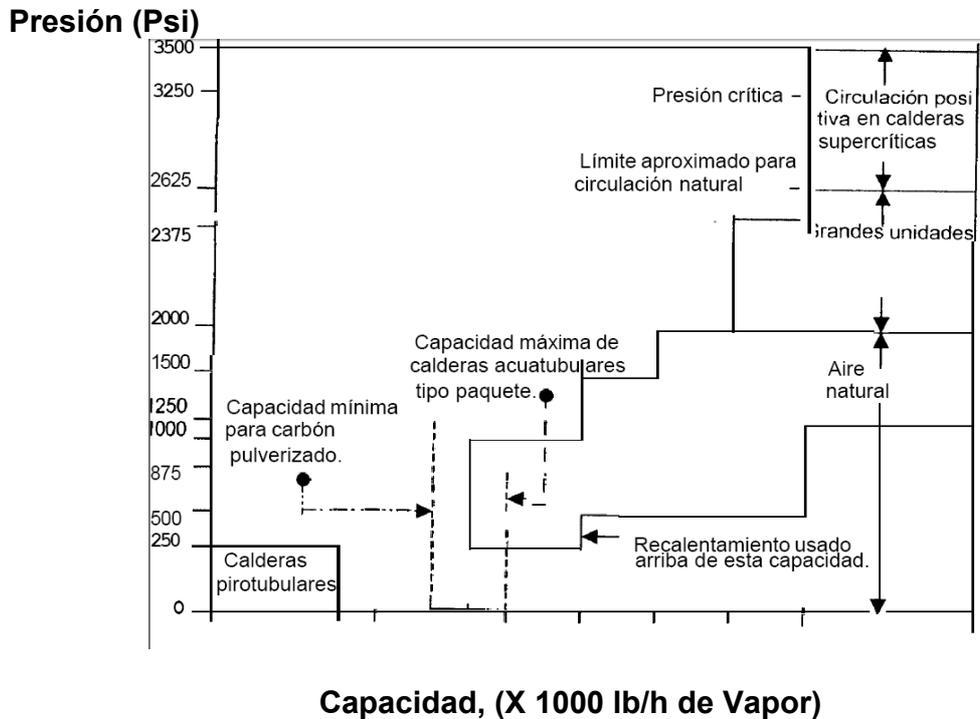


FIGURA 4.2. RELACIÓN DE PRESIÓN-CAPACIDAD PARA SELECCIONAR EL TIPO DE CALDERA A USAR

De acuerdo al Apéndice B que es una tabla de selección de calderas, que fue proporcionada por los fabricantes de la Cleaver Brooks, se debe de seleccionar dos generadores de potencia de salida de 60 C.C, para que funcione alrededor del 75 % de su capacidad máxima.

4.9. Análisis con los Diversos Factores de Selección.

De acuerdo al balance térmico se llegó a determinar en primera instancia que es correcta la selección instalada para la planta que elaborará Yogurt y Crema de Leche, la cual se obtiene dos calderas de 60 C.C, cada una, además de la presión de trabajo, existen otros factores que se considerarán para seleccionar un generador de vapor estos son.

- El agua de alimentación disponible.
- Tiempo de operación diaria de la caldera.
- Tipo de caldera a usar.
- Número de unidades.
- Selección del combustible.
- El espacio disponible.
- La disponibilidad de energía eléctrica.

El Agua de Alimentación Disponible.

Este factor tiene que ver con la disponibilidad de agua con que se cuenta para la operación de las calderas, así como la calidad de la misma. Para dicho proyecto se deberá tener una cisterna de 100 m³ la

cual es alimentada por tanqueros. La calidad del agua será controlada por medio de un tratamiento permanente de la cisterna.

Tiempo de Operación Diaria de la Caldera.

Este factor influye en la cantidad de vapor que se requiera, también influye en la elección de combustible a utilizarse. Para la caldera seleccionada el tiempo de operación es de 24 horas, ya que no se parará la producción.

Tipo de Caldera a Usar.

De acuerdo a la presión y capacidad (150 psi, 60 C.C.) se requiere una caldera pirotubular, ya que cuyo valor esta dentro del rango establecido para la utilización de una Caldera Pirotubular (250 Psi).

Número de Unidades.

Este factor depende de la demanda de vapor, de acuerdo al balance térmico se deberá tener dos calderas de 60 C.C de marca Cleaver Brooks.

Selección del Combustible.

Para la selección de este factor se debe de considerar además del costo del combustible, el costo de operación el cual depende de la facilidad de almacenamiento y del mantenimiento del quemador como también de los demás componentes del sistema de combustible.

Para calderas de hasta 60 C.C se recomienda utilizar diesel oíl, para valores mayores de 80 C.C, se deberá utilizar fuel oíl conocido también como Bunker N° 6 por ser más barato, pero necesitaría un sistema adicional para su manipulación.

Se seleccionó como combustible diesel oíl ya que es el más recomendado para calderas de 60 C.C, a pesar de ser uno de los combustibles más costosos, pero el de mejor calidad.

El Espacio Disponible.

La disponibilidad de espacio no es problema debido a que el sector industrial en Guayaquil cuenta con suficientes extensiones de terrenos disponibles.

La Disponibilidad de Energía Eléctrica.

El suministro de energía eléctrica en Guayaquil es ininterrumpido, sin embargo es necesario contar con una fuente de suministro propia para posibles cortes.

A continuación se detallan las principales características de la caldera que se seleccionó.

Capacidad Nominal a 100°C.	939 Kg/h
Tipo	4 pasos (Tubos de Fuego)
Dimensión.	(3540*1771*1864) mm. (L*A*H)
Peso de la caldera (nivel normal)	4296 kg.
Consumo Combustible.	67 l/h (diesel oíl).
Posición de la caldera.	Horizontal.
Presión de Diseño.	10.5 Kg/cm ²
Presión máxima de operación	9.5 Kg/cm ²

CAPÍTULO 5

5. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.

En el sistema de agua de alimentación de una caldera constituye la materia prima para la producción de vapor, por lo tanto este elemento debe ser suministrado permanentemente a la caldera a fin de mantener una generación de vapor constante.

Existen industrias o servicios, que quedarían colapsados por una falla en la caldera hasta el punto de llegar a parar su producción, y su reparación o sustitución podría representar un costo considerable en su presupuesto, por lo que es esencial que la caldera opere en optimas condiciones.

Los componentes básicos de agua de alimentación de una caldera son:

- Tanque de almacenamiento.
- Bomba de alimentación.
- Equipo de control.

5.1. Diseño del Tanque de Agua de Alimentación.

Como la generación de vapor de una caldera depende de la cantidad que se suministra a esta, es recomendable que la cantidad de agua de reserva y 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.

Además el tanque de almacenamiento de agua de alimentación no deberá nunca estar al 100% lleno, si no que es recomendable que este se encuentre siempre solamente con un nivel de agua que cubra el 70% de la capacidad del tanque.

Se sabe que para satisfacer la demanda de agua de un caballo caldera se requieren 0.07 galones americanos por minuto GPM o sea 0.261 litros por minuto.

Con las recomendaciones anteriores la capacidad del tanque será la siguiente:

$$\text{Capacidad del tanque} = \frac{(\text{Reserva mínima de agua})}{0.7}$$

$$R_{\text{mínima agua}} = (\# \text{calderas})(\text{CC}) * (0.261 \text{ litros}/\text{min})(\text{Tiempo}_{\text{minutos}})$$

$$R_{\text{mínima agua}} = (2)(60\text{CC}) * (0.261 \text{ litros}/\text{min})(20_{\text{minutos}})$$

$$\text{Capacidad del tanque} = 895 \text{ litros} = 236 \text{ galones US}$$

Se entiende que el tanque de almacenamiento del agua de alimentación recibirá el retorno del condensado proveniente del vapor que ha circulado por todo el sistema de vapor, aparentemente existiría un circuito cerrado de circulación perfecta.

Para el diseño del tanque de agua de alimentación se debe de tomar en consideración el volumen del mismo y este es el siguiente:

Capacidad del tanque = 236 gal

El tanque de agua de alimentación será de acero inoxidable, de forma cilíndrica de esta lista se selecciona el tanque que alimentará a la caldera con las características indicada en la tabla 11, (Apéndice C)

En la figura 5.1 se tiene un esquema del tanque de agua de alimentación.

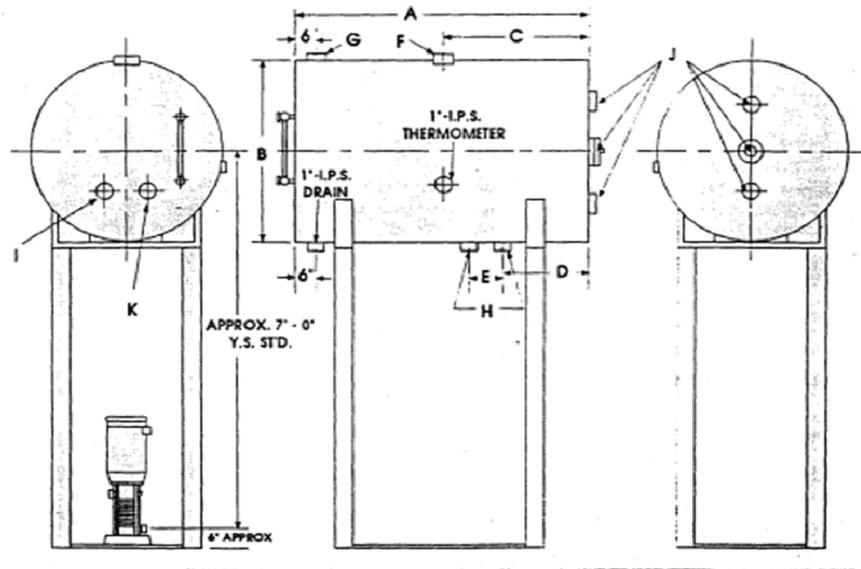


FIGURA 5.1. TANQUE SELECCIONADO PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN

Fuente de información: Donlee Technologies Inc.

5.2. Cálculo y Selección de la Bomba de Alimentación de Agua.

Para calcular la bomba de agua de alimentación de debe de tomar en consideración algunos criterios de selección de una bomba, para las calderas son básicamente las siguientes:

- Operación continua ó intermitente.
- Temperatura del agua a la succión.
- Capacidad.
- Presión de descarga.
- Carga neta de succión positiva requerida.

5.2.1. Operación Continua o Intermitente.

En la mayor parte de las bombas destinadas a calderas de tubo de fuego la operación es intermitente, esto se debe a que este tipo de caldera trabajan generalmente con un flotador sobre el cual actúa un switch; este switch hace que el motor que impulsa la bomba pare o arranque entre cierto nivel.

En este caso la tubería de descarga de la bomba de alimentación debe dirigirse directamente a la caldera sin restricciones en esta línea.

Por lo tanto es importante saber si la bomba opera en forma intermitente o continua, puesto que la capacidad, presión de descarga y el tipo de bomba seleccionada dependerá de estos parámetros.

Por lo tanto considerando este factor de selección se deberá considerar que la bomba de agua de alimentación al tener operación intermitente, debe ser del tipo centrífuga, o turbina de acuerdo a las recomendaciones técnicas.

5.2.2. Temperatura del Agua a la Succión.

De acuerdo con los rangos de temperatura en el tanque de agua de alimentación esta deberá estar entre los 80°C, por lo tanto la temperatura del agua de succión no superará los 104°C, que es el rango máximo para bombas standard. De acuerdo a esto se requerirá bombas standard tipo turbina.

Pero este valor puede variar cuando el agua circula por la tubería y es así que se estima que la temperatura promedio sería 70°C lo cual es seguro, ya que a temperaturas superiores se presentan problema de cavitación.

5.2.3. Capacidad.

La capacidad de una bomba de agua de alimentación de calderas significa el caudal que una bomba puede proveer, pero siempre dependiendo también de la presión de descarga y de la carga neta de succión requerida. Cabe indicar que los dos tipos de bombas usadas para el agua de alimentación de calderas son:

- La tipo turbina
- La tipo centrifuga

Para este caso se elige la bomba tipo turbina. Este tipo de bomba tiene que ser seleccionada para una capacidad de 1.5 a 2.0 veces la capacidad de la caldera.

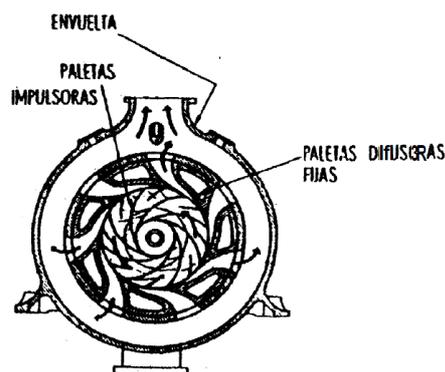


FIGURA 5.2: BOMBA TIPO TURBINA

Como se seleccionó una bomba tipo turbina, se elige como factor de seguridad el 2.0 de exceso de agua evaporada, y como se requiere 0.07 GPM de agua por cada caballo caldera, entonces para la caldera Cleaver Brooks de 60 C.C se tiene:

$$Q_{bomba} = (60CC) * (0.07 \text{ GPM/CC}) * (\text{factor } 2)$$

$$Q_{bomba} = 8.4 \text{ GPM}$$

En la figura 5.3 (Apéndice D), se presentan las curvas hidrostáticas de una bomba de agua de alimentación tipo turbina, la misma que cumple con los requerimientos calculados.

5.2.4. Presión de Descarga.

Para este caso la tubería de descarga de la bomba está conectada directamente a la caldera (es decir, sin existir alguna válvula motorizada ó regulador de agua de alimentación en estas líneas), solamente se debe de considerar la presión de alimentación de la

caldera y las pérdidas producidas en las tuberías para determinar la presión de descarga de la bomba.

Como ya se conoce la presión de operación de la caldera Cleaver Brooks y esta es de 150 Psi y así se puede comenzar a calcular las pérdidas producidas en las tuberías, pero se debe de identificar todos los componentes de agua de alimentación de la caldera.

En la tabla 12 se muestran los componentes a ser analizados:

TABLA 12
CARACTERÍSTICAS DE TRAMOS CALDERA-BOMBA / ALIMENTACIÓN

Tubería y accesorios	Caldera – bomba
Tubería 1½ cedula 40	30 pies
Codos de 1½	8
Válvula 1½	3
Válvula de retención	1

Para calcular las pérdidas en la conexión de caldera – bomba de alimentación se debe de usar la tabla 13 (apéndice E).

La tabla 13 (apéndice E) relaciona el caudal con la velocidad para diferentes tuberías, para este caso se utilizará tubería de 1½ pulgadas – cédula 40.

También se utiliza la tabla 14 (apéndice F), tomadas del texto Hidráulica de Andrew L. Simón para evaluar los coeficientes de pérdidas locales en los accesorios.

Se debe de tener en consideración que las pérdidas totales están dadas por las pérdidas en los accesorios más las pérdidas en las tuberías.

Citemos:

h_f a las pérdidas en las tuberías

h_a a las pérdidas en los accesorios

H_T a las pérdidas totales

a. Pérdidas en tuberías:

Para calcular las pérdidas en la tubería se tiene la siguiente ecuación:

$$H_t = (h_f) * (\text{longitud de tubería})/100$$

Donde h_f se calcula con la tabla 13 (apéndice E) para 8.4 GPM, tubería de 1½.

$$h_{\text{tubería}} = \frac{0.61 * (30 \text{ ft})}{100}$$

$$h_{\text{tubería}} = 0.184 \text{ ft}$$

Se debe de indicar que se producirá una pérdida de presión en la tubería la misma que se calcula de la siguiente manera:

$$PP_t = (H_t) * (\text{densidad del agua a } 70^\circ\text{C}) * (\text{gravedad})$$

Donde:

PP_t = Pérdidas de presión en tuberías

$$PP_t = (H_t) * (\text{densidad del agua a } 70^\circ\text{C}) * (\text{gravedad})$$

$$PP_t = (0.184 \text{ ft}) * (62.29 \text{ lb/ft}^3) * (32.2 \text{ ft/s}^2)$$

$$PP_t = 0.08 \text{ Psi}$$

Dando a conocer el factor de conversión de:

$$\text{lb}_f = 32.2 \text{ lb.ft/s}^2 \text{ Entonces Psi} = \text{lb/pulg}^2$$

b. Pérdidas en accesorios

Utilizando la tabla 14 (apéndice F), se tienen los siguientes coeficientes de pérdidas locales:

Codos de 1½	1.18
Válvula 1½	17
Válvula de Retención	12

Para determinar las pérdidas en los siguientes accesorios se debe de tomar en consideración la siguiente ecuación:

$$h_v = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) * (\# \text{accesorios})$$

- **Codos.**

$$h_{v0} = (1.18) * \left[\frac{(1.32 \text{ ft/s})^2}{2 * 32.17 \text{ ft/s}^2} \right] * 8 \text{ codos}$$

$$h_{v0} = 0.25 \text{ ft}$$

- **Válvula de paso.**

$$h_{v1} = (17) * \left[\frac{(1.32 \text{ ft/s})^2}{2 * 32.17 \text{ ft/s}^2} \right] * 3 \text{valvulas}$$

$$h_{v1} = 1.37 \text{ ft}$$

- **Válvula de retención.**

$$h_{v2} = (12) * \left[\frac{(1.32 \text{ ft/s})^2}{2 * 32.17 \text{ ft/s}^2} \right] * 1 \text{val retencion}$$

$$h_{v2} = 0.32 \text{ ft}$$

- **Pérdidas por accesorios totales:**

$$h_a = h_{v0} + h_{v1} + h_{v2}$$

$$h_a = 1.94 \text{ ft}$$

c. Pérdidas de descarga total:

$$H_{\text{total}} = h_{\text{tubería}} + h_{\text{accesorios}}$$

$$H_{\text{total}} = 2.12 \text{ ft}$$

Se debe de indicar que se producirá una pérdida de presión en los accesorios, la misma que se calculará de la siguiente manera:

$$PP_a = (h_a) * (\text{densidad del agua a } 70^\circ\text{C}) * (\text{gravedad})$$

Donde:

PP_a = Pérdidas de presión en tuberías

$$PP_a = (h_a) * (\text{densidad del agua a } 70^\circ\text{C}) * (\text{gravedad})$$

$$PP_a = (1.94 \text{ ft}) * (62.29 \text{ lb/ft}^3) * (32.2 \text{ ft/s}^2)$$

$$PP_a = 0.84 \text{ Psi}$$

Dando a conocer el factor de conversión de:

$$\text{lbf} = 32.2 \text{ lb.ft/s}^2 \text{ Entonces Psi} = \text{lb/pulg}^2$$

- **Pérdidas por Presiones Totales:**

$$PP_{\text{total}} = PP_{\text{tubería}} + PP_{\text{accesorios}}$$

$$PP_{\text{total}} = 1 \text{ Psi}$$

Por lo tanto se debe de tomar en consideración esta presión adicional para poder seleccionar la bomba, de acuerdo a los fabricantes de bombas se recomienda que la presión de descarga siempre sea mayor que la presión de operación de la caldera y se considera que el valor adicional debe de estar entre 5 y 25 Psi. Para este caso la presión de operación es de 150 Psi.

Para tener un factor de seguridad con mayor confiabilidad se toma la presión de 25 Psi entonces la presión de descarga de la bomba va a ser la sumatoria de todas las presiones.

Entonces la bomba de agua de alimentación deberá tener una presión de descarga de 176 Psi.

5.2.5. Carga Neta de Succión Positiva (NPSH).

Esta se define como la diferencia entre la presión de estancamiento absoluta en el flujo en la succión de la bomba y la presión del líquido.

La carga neta de succión requerida $(NPSH)_R$ por una bomba específica para suprimir la cavitación varía con el líquido bombeado y con la temperatura del líquido, así como las condiciones de la bomba. Esta puede medirse en una instalación de pruebas de bombas controlando la presión de entrada.

La carga neta de succión positiva disponible $(NPSH)_A$ en la entrada de la bomba debe de ser mayor que la $(NPSH)_R$ para eliminar la cavitación. La caída de presión en la tubería de entrada y en la

entrada de la bomba aumenta, cuando se incrementa la relación del flujo volumétrico.

Debido a que la $(NPSH)_R$ está en función del diseño de la bomba, esta se indica en la figura 5.3 (Apéndice D), entonces el objetivo es determinar la $(NPSH)_A$.

Con la siguiente ecuación se determinará la carga neta de succión disponible:

$$(NPSH)_A = \left(\frac{2.31(P_s - P_v)}{\text{sp.gr}} \right) + Z - (Hf_s + H_f)$$

P_s : Presión de succión

P_v : Presión de vapor del líquido

Sp.gr : Densidad relativa del líquido

Para esta planta se tienen los siguientes datos:

P_s : Presión de succión

P_v : A 70°C la presión es de 4.519 Psi

Sp.gr : A 70°C = 0.9781

Z : 5 ft.

a. Fricción en la succión (Hfs).

Para calcular las pérdidas por fricción en la succión se debe de utilizar el diagrama de Moody presentado en la figura 5.4 (Apéndice G), tomada del texto Introducción a la Mecánica de Fluidos de Fox- Mc Donald. Utilizando el Nomograma de Hazen-William, figura 5.5 (Apéndice H), con el diámetro de la tubería y la capacidad de galones por minutos se puede estimar una velocidad promedio.

Donde:

$$\varnothing_{\text{tubería}} = 2\frac{1}{4} \text{ pulg}$$

$$Q_{\text{bomb}} = 8.4 \text{ GPM}$$

Con estos datos se estima una velocidad de 0.9 ft/s. Para así proceder a calcular el número de Reynolds con la siguiente ecuación:

$$R_e = \delta v D/\mu$$

Donde:

δ : es la densidad del agua a 70°C, $\delta = 61 \text{ lb/ft}^3$

V : es la velocidad estimada $V = 0.9 \text{ ft/s}$.

D : es el diámetro de la tubería

μ : es la viscosidad dinámica, $\mu = 8.356\text{E-}6$ (($\text{lb}\cdot\text{s}/\text{ft}^2$))

Con todos estos datos el número de Reynolds será:

$$R_e = \frac{(61 \text{ lb/ft}^3) \times (0.8 \text{ ft/s}) \times (0.1875 \text{ ft})}{8.356 \times 10^{-6} \text{ lb}\cdot\text{s}/\text{ft}^2}$$

$$R_e = 33940$$

Dando a conocer el factor de conversión de:

$$\text{lbf} = 32.2 \text{ lb. ft/s}^2$$

Por lo tanto una vez obtenido el número de Reynolds se compara con $Re > 2300$ y considerando que el número de Reynolds que se obtuvo fue mayor que 2300 entonces se trata de un flujo turbulento y utilizando las figuras 5.4 y 5.6 (Apéndice G e I) tomadas del texto Introducción a la Mecánica de Fluidos de Fox/McDonald:

Con el $Re = 3.3 * 10^4$, $\varnothing_{\text{tubería}} = 2\frac{1}{4} \text{ pulg}$ se puede encontrar la rugosidad relativa $e/D = 0.004$ y el factor de fricción $f = 0.029$.

Una vez obtenido los datos necesarios se puede evaluar las pérdidas en la tubería de succión.

$$H_t = fLv^2/2Dg$$

Donde todos estos parámetros son conocidos:

$$H_t = \frac{(0.029) \times (13 \text{ ft}) \times (0.8 \text{ ft/s})^2}{2 \times (0.1875 \text{ ft}) \times (32.17 \text{ ft/s}^2)}$$

$$H_t = 0.0195 \text{ ft}$$

Para calcular las pérdidas en los codos se procede como la parte anterior:

$$h_c = (1.18) * \left[\frac{(1.32 \text{ ft/s})^2}{2 * 32.17 \text{ ft/s}^2} \right] * 2 \text{ codos}$$

$$h_c = 0.063 \text{ ft}$$

Se tiene que considerar las pérdidas en la tubería como se hizo anteriormente. La longitud de tubería de succión es de 4 pies con un diámetro de 1½ entonces se utiliza la tabla 13 (Apéndice E) para poder calcular las pérdidas:

$$h_t = (0.61)(4)/100 = 0.024 \text{ ft}$$

Se suman todas las pérdidas para así obtener el coeficiente

Hf_s

$$Hf_s = 0.024 + 0.063 + 0.0195 = 0.1065 \text{ ft}$$

b. Pérdidas de entrada H_i :

Para poder estimar las pérdidas a la entrada se tiene que utilizar la tabla 14 (Apéndice F) la cual indica el factor K para así proceder a calcular con la siguiente ecuación.

$$h_i = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_i = (0.8) * \left[\frac{(1.32 \text{ ft/s})^2}{2 * 32.17 \text{ ft/s}^2} \right] * 1 \text{ entrada}$$

$$h_i = 0.022 \text{ ft}$$

Entonces una vez obtenido todos los datos se procede al cálculo de la carga neta de succión positiva.

$$(NPSH)_A = \frac{2.31(20 - 4.519)}{0.9781} + 5 - (0.1065 + 0.022)$$

$$(NPSH)_A = 41 \text{ ft}$$

El resultado de la $(NPSH)_A$ indica que para seleccionar la bomba de agua de alimentación, se debe de considerar, seleccionar una bomba que tenga como parte de diseño una $(NPSH)_R$ menor a 41 pies, para el caudal obtenido (8.4 GPM).

Mientras $(NPSH)_A$ sea mayor que la $(NPSH)_R$ la bomba puede trabajar en un amplio intervalo de capacidades.

c. Condiciones de descarga.

Se puede calcular cuánto es la altura total dinámica de descarga de la bomba (TDH):

$$TDH = \left(\frac{2.31(P_2 - P_1)}{\text{sp.gr}} \right) + Z_2 - (H_{TS} + H_{TD})$$

P_2 : Presión máxima a desarrollar de la bomba 176 Psi

P_1 : Presión de succión 20 Psi

Z_2 : Altura del nivel de suministro de agua 3 ft

H_{TS} : Pérdidas por succión (0.01065 + 0.022) ft

H_{TD} : Pérdidas por descarga 2.12 ft

Por lo tanto se evalúan estos parámetros ya conocidos y se obtiene el cabezal de la bomba:

$$TDH = 371 \text{ ft}$$

La potencia desarrollada por la bomba es la potencia entregada al eje de la bomba calculada por la siguiente ecuación:

$$BPH = Q * TDH * Sp. gr / 3960 * n$$

$$Q=8.4 \text{ GPM}$$

$$TDH=371 \text{ ft}$$

$$Sp.gr= 0.9781 \text{ a } 70^{\circ}\text{C}$$

n=eficiencia de la bomba

Como ya se calculó todos los parámetros requeridos, solo falta estimar la eficiencia de la bomba a criterio propio ya que para el peor de los casos la eficiencia puede ser muy baja, pero para eso la bomba está diseñada.

La eficiencia puede variar de 26% a 80% para este caso se toma el mejor de los casos para así no tener problemas con la selección de la bomba.

Al evaluar la bomba esta requiere de 3 HP para poder trabajar en condiciones normales o criticas.

La característica de la bomba es:

1750 rpm

Presión máxima 175 Psi

Caudal de diseño 8.4 GPM

Motor eléctrico de 3 HP, 60HZ, 220V a 440V.

CAPÍTULO 6

6. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

Se entiende por sistema de combustible de una caldera al conjunto de componentes requeridos para proveer de combustión a la misma. Los principales componentes de un sistema de combustible son:

- Tanque de combustible
- Bomba de combustible
- Quemadores de combustible
- Accesorios.

6.1. Combustibles Usados en la Caldera.

Para los ingenieros que están directamente involucrados con el área de diseño y operación de calderas, es necesario definir términos

relacionados con la combustión. La combustión puede considerarse como la unión química del combustible y del oxígeno del aire.

El aire es la fuente común de oxígeno para la combustión en las calderas; es una mezcla de oxígeno, nitrógeno y pequeñas cantidades de vapor de agua, dióxido de carbono, argón y otros elementos.

Los combustibles son sustancias orgánicas utilizadas principalmente para la producción de calor útil, y se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Los combustibles utilizados en la operación de las calderas industriales, en el país son derivados del petróleo:

- Carbón
- Gas
- Kerosene
- Diesel oil
- Fuel oil
- Bagazo de caña de azúcar

El carbón de piedra es utilizado en otros países como Inglaterra, USA y Sudáfrica, pero en el Ecuador no existe este tipo de combustible.

El gas es subvencionado por el estado ecuatoriano y solo es usado para cocinas a gas, es decir aplicaciones domesticas.

El fuel oíl es un combustible muy barato, pero se necesita de un tratamiento adicional.

Entonces nos queda el diesel oíl combustible que es usado en casi todas las calderas industriales existentes en el Ecuador.

6.2. Selección del Combustible a Utilizarse.

Para seleccionar el combustible que se va a utilizar se debe de analizar las propiedades del combustible, su costo de adquisición, y también la disponibilidad en el mercado durante todo el año.

Se seleccionará como combustible el diesel oíl por ser el más recomendado para calderas de 60 C.C, ya que este tiene mejor calidad y las propiedades son las más apropiadas para el generador de vapor.

En la tabla 15 se especifican las propiedades del diesel oíl.

TABLA 15
PROPIEDADES DEL DIESEL OIL

PROPIEDADES	DIESEL OIL
Viscosidad	36-45
Gravedad especifica	0.849-0.86
Grados API	33-35
Punto de inflamación (°F)	180
Punto de fluidez (°F)	44
Poder calorífico (Kcal/kg)	10700
Contenido de azufre %	0.49
Contenido de vanadio (ppm)	1.5
Contenido de cenizas %	-

6.3. Demanda del Combustible en la Caldera.

Como la demanda de combustible en el generador de vapor depende de los caballos caldera entonces se tiene que para 60 C.C (2008320 BTU/H). Y con la siguiente ecuación se puede determinar el caudal para la caldera, una vez conocido el valor calorífico del diesel, el cual entrega 138224 BTU/gal.

$$Q_{\text{comb}} = \text{capacidad del generador} / \text{valor calorífico combustible}$$

$$Q_{\text{comb}} = \frac{2008320 \text{ BTU/H}}{138224 \text{ BTU/GAL}}$$

$$Q_{\text{comb}} = 14.5 \text{ GPH}$$

Para esto interviene la eficiencia del generador ya que se estimó que sería a un 80%.

$$Q_{\text{comb}} = 18.2 \text{ GPH}$$

6.4. Dimensionamiento del Tanque de Servicio Diario de Combustible.

Los tanques de combustibles que se utilizan en plantas industriales y que operan con calderas de vapor se clasifican en:

a) Según su forma.

- Cilíndricos verticales.
- Cilíndricos horizontales.
- Rectangulares.

b) Según su ubicación.

- Sobre el piso.
- Subterráneos.

El material de construcción de los tanques deberá ser siempre de acero, en algunos casos los tanque pueden ser instalados a una altura superior a la que se encuentra los quemadores de las calderas y a esto se los denomina tanque de gravedad.

El número de tanques y la capacidad de los mismos dependerán del consumo de combustible de la caldera que exista en la planta.

El tanque de servicio diario, deberá tener una capacidad mínima de almacenamiento, que el combustible pueda durar, 24 horas de operación de la caldera.

$$V_{comb} = 18.2GPH * 24H$$

$$V_{comb} = 435galones$$

Como $1m^3 = 264.17gal$

$$V_{tanq} = \pi D^2 L / 4 = 435 gal = 1.64m^3$$

De acuerdo a la tabla 16 se puede determinar el diámetro del tanque diario y su espesor.

TABLA 16
DIAMETRO DE TANQUE DE COMBUSTIBLE SEGÚN SU
CAPACIDAD.

Capacidad (gal)	Diámetro Max (m)	Espesor (in)
Menos de 1321	1,5	3,5
1322-2642	1,85	4
2643-3963	2,33	4,5
3964-6605	2,65	5
6606-13210	3,16	6,5
13211-19815	4	8

Como ya está determinado su diámetro entonces se puede calcular su longitud.

Dimensiones del tanque diario para 24 horas de trabajo:

$D = 1m$

$L = 2.09m$

$\text{Espesor} = 3.5 \text{ in}$

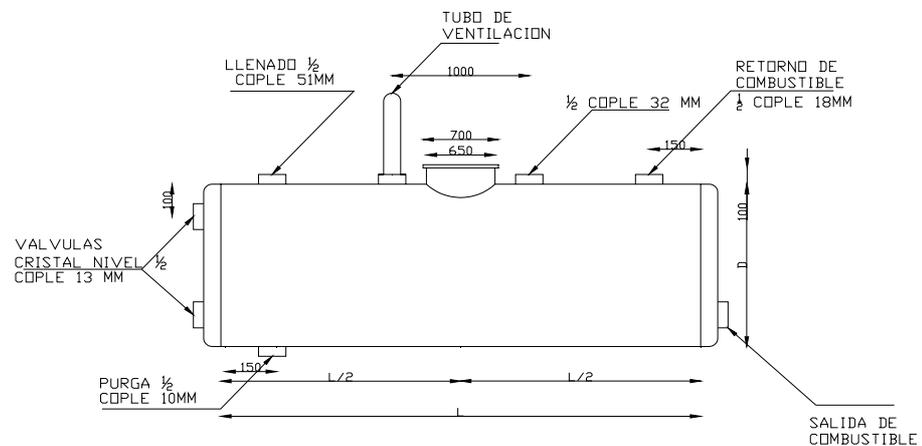


FIGURA 6.1: TANQUE DE COMBUSTIBLE PARA DIESEL OIL.

El tanque de almacenamiento ó de reserva fundamentalmente es un tanque horizontal cilíndrico. Este tanque tendrá una capacidad de 25 días laborables es decir 600 horas.

$$V_{\text{TAN}} = 18.2\text{GPH} * 600\text{H} = 10920\text{gal}$$

Esto está calculado para una caldera de 60 C.C.

Como $1\text{m}^3 = 264.17\text{gal}$

$$V_{\text{total}} = \pi D^2 L / 4 = 21840 \text{ gal} = 82.67\text{m}^3$$

Con la tabla 16 se puede determinar el diámetro y proceder a determinar la longitud del mismo.

$$D = 4\text{m}$$

$$L = 6.57\text{m}$$

$$\text{Espesor} = 8\text{in}$$

6.5. Cálculos y Selección de la Bomba de Combustible.

Las bombas de combustible son del tipo de desplazamiento positivo, rotativo y de engranajes en la siguiente figura se puede apreciar un tipo de bomba de engranajes.

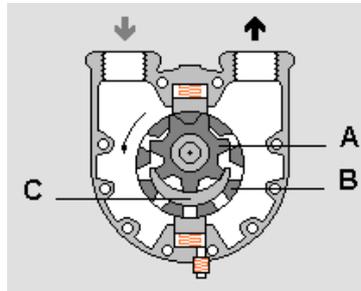


FIGURA 6.2: BOMBA DE ENGRANAJES.

Toda bomba tiene como características principales; su cabezal o altura total de descarga ya sea en pies de agua o en pulgada de mercurio y su caudal volumétrico en (GPH o GPM).

Para este caso se ha seleccionado como combustible diesel oíl, la bomba será de engranajes, para esta bomba se recomienda que la altura total de succión de la bomba no sea mayor de 12 pulgadas de mercurio cuando la bomba no se encuentra integrada a la caldera, por otro lado se recomienda que la altura de succión no sobrepase de 10 pulgadas de mercurio cuando la bomba se encuentra integrada a la caldera. La presión de descarga de la bomba puede fluctuar de 40 a 175 Psi.

La presión es de 100 Psi. Con respecto al caudal de la bomba, éste depende de la demanda de vapor y fue calculado anteriormente $Q_{comb} = 18.2 \text{ GPH}$ y tendrá una gravedad específica de 0.85 con una eficiencia de 80%.

En primera instancia se procede a calcular la potencia de la bomba de acuerdo a las condiciones del sistema con la siguiente ecuación:

$$Pot = 8.33 (TDH)(Q_{comb})(SG)/33000\eta$$

Donde:

THD = cabezal de presión de descarga, en pies de columna de agua

SG = gravedad específica

Q_{comb} = Caudal de la bomba (18.2GPH=0.303GPM)

η = eficiencia (0.80)

Como el cabezal de descarga es de 100 psi entonces se tiene que para

$$\frac{14.7 \text{ psi}}{2.31 \text{ ft de agua}} = 2.31 \text{ ft de agua}$$

Entonces el TDH = 231 ft de agua, y la gravedad específica del diesel oil es de 0.85.

$$Pot = 8.33(231 \text{ ft H}_2\text{O})(0.4 \text{ GPM})(0.85) / 33000(0.80)$$

$$Pot = 1/4 \text{ HP}$$

6.6. Selección del Tipo de Quemador.

Los quemadores proveen un medio para pulverizar el combustible dentro del hogar y la mezcla íntima del combustible finalmente pulverizado con suficiente aire para mantener la combustión.

La atomización del combustible tiene por objetivo dividirlo en partículas muy extremadamente finas para asegurar un mejor contacto con el oxígeno carburante. La atomización se realiza en el quemador, cuya función principal es la de hacer que la mezcla aire-combustible sea lo más homogénea posible, de tal forma que la proporción de estos dos elementos suministre el máximo de eficiencia térmica.

Existen tres tipos de quemadores de combustibles de las calderas, estas son:

- Quemadores con atomización por vapor.
- Quemadores por atomización por aire.
- Quemadores con atomización mecánica.

Para este sistema, en la cual se seleccionó una caldera Cleaver Brooks de 60 C.C, esta viene con su quemador típico tal que es un quemador construido integralmente por atomización de aire.

Es decir al seleccionar la caldera automáticamente se está seleccionando el quemador requerido, hoy en día los fabricantes incluyen los quemadores y su bomba de combustible, así como algunos accesorios.

6.7. Dimensionamiento de la chimenea.

El dimensionamiento de la chimenea es la determinación de la altura y la sección transversal, estas deben de ser las más adecuadas de tal

forma que la evacuación de los gases generados en la combustión se la realice de una excelente forma.

Tipos de tiros.

Existen 3 clases de tiros:

- Natural
- Forzado o mecánico
- Inducido

Se entiende por tiro a la diferencia de presión producida por el flujo de aire a través de una caldera, hogar, tubo de escape, chimenea.

El tiro es necesario para que suministro de aire en una cantidad suficiente asegure una combustión completa y bajo una suficiente presión que pueda vencer la resistencia ofrecida por la caldera, envolvente, tubos, paredes del hogar, tabiques, y revestimiento de chimenea.

a.Tiro natural.

Es producido solamente por una chimenea y es causado por la diferencia en peso entre la columna de agua de gas caliente dentro de la chimenea y una columna de aire frío exterior de la misma altura y sección transversal. Usualmente es controlados por dámpers (reguladores tipo mariposa) operados manualmente en la chimenea y en las conexiones de aberturas de la caldera a la chimenea.

b. Tiro mecánico.

Es producido artificialmente por ventiladores.

c. Tiro inducido.

Es aquel que se induce por medio de un ventilador para que los gases escapen por la chimenea.

El tiro de una caldera se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$D = 0.52H * P \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_E} \right)$$

Donde:

D = Presión de tiro en pulgadas de columna de agua

H = Altura de la chimenea

P = Presión atmosférica en lb/pulg² absoluta

T_o = Temperatura absoluta del aire exterior ($^{\circ}\text{F}+460$)

T_g = Temperatura absoluta del gas de la chimenea ($^{\circ}\text{F}+460$)

De esta misma forma se puede deducir aquella para calcular la altura de una chimenea cuando se conoce la presión estática del tiro.

Para determinar la altura de la chimenea se debe de determinar cuánto es el porcentaje de CO_2 en exceso de aire, la cantidad teórica de aire húmedo para la combustión es de 17.71 libras por cada libra de diesel oíl y con la tabla 17 se puede determinar cuánto es el exceso de aire.

TABLA 17

CALIDAD DE COMBUSTION % CO_2 EN LOS HUMOS

Rango	Combustible	
	Diesel oíl	Fuel oíl
Excelente	12,8% CO ₂	13,8% CO ₂
Bueno	11,5% CO ₂	11,5% CO ₂
Regular	10% CO ₂	13% CO ₂
Pobre	< 9 % CO ₂	< 12% CO ₂

Para obtener una excelente combustión de diesel oíl se necesita 12.8% de CO₂, para lo cual se debe de determinar el exceso de aire desde la tabla 18.

TABLA 18

CO₂ EXCESO DE AIRE Y PÉRDIDAS POR LA CHIMENEA

CO ₂ EXCESO DE AIRE Y PÉRDIDAS POR LA CHIMENEA						
%	%	Temperatura neta de la chimenea en °C				
		200	250	300	370	425
CO ₂	exceso aire					

15	2	14,75	16,75	19	21,25	23,5
14	7	15,25	17,25	19,75	22	24,5
13	15	15,75	18	20,5	23	25,6
12	25	16,25	18,75	21,5	24,25	27
11	35	17	19,75	22,75	25,6	28,6
10	60	18	21,25	24,25	27,25	30,5
9	65	19,25	22,75	26	29,25	33
8	78	20,75	24,25	28,25	32	36
7	90	22,25	26,75	31	35,25	39,75
6	110	25	30	34,75	40,75	45
5	130	28,25	34,25	40	46	52

Como la tabla nos indica que para un 12% de CO_2 se debe de necesitar 25% en exceso de aire.

Entonces se realiza un balance en el hogar de la caldera:

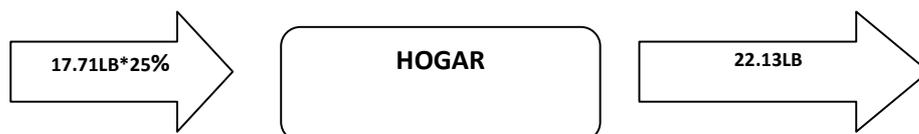


FIGURA 6.3: BALANCE DE MASA EN EL HOGAR.

Como se necesita saber cuál es la masa de combustible, entonces se tiene que para la caldera seleccionada de 60 C.C se necesita 67 litros

por hora de diesel oíl, según la tabla de dimensiones y capacidades de la caldera Cleaver Brooks, expuesta en el Apéndice B.

$$\dot{m} = \rho_{\text{diesel}} Q_{\text{comb}}$$

Puesto que:

$$\rho_{\text{diesel}} = 7.16 \text{ lb/gal} = 1891.67 \text{ lb/m}^3$$

$$Q_{\text{comb}} = 67 \text{ lts/h} = 0.067 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} = 126.74 \text{ lb/h}$$

Con este balance de masas se tiene que la cantidad de gases de combustión generados en el hogar de la caldera es:

$$m_{\text{gases}} = (r_{\text{gases/diesel}})(m_{\text{comb}})$$

Donde:

m_{gases} = flujo másico de los gases de escape (lb/h)

$r_{gases/diesel}$ = relación de gases de escape - diesel oíl = 22.13 lb_g/lb_d

m_{comb} = flujo másico de combustible = 168 lb/h

Evaluando todos estos datos:

$$m_{gases} = 2804.75 \text{ lb/h}$$

Para las calderas de pequeña capacidad se tiene que la temperatura promedio de salida de los humos esta por los 200°C, los gases de combustión siguen con bastante aproximación las leyes de los gases perfectos, además se puede suponer sin gran error que la densidad de estos gases es la que tendría el aire a la misma temperatura, y así poder aplicarse la ecuación:

$$\rho_{gases} = P/RT_{gases}$$

Donde:

$$\rho_{gases} = \text{Densidad de los gases de escape } lb/ft^3$$

$$P = \text{Presión atmosférica} = 14.7 \text{ lb/pulg}^2 = 2116.8 \text{ lbf/ft}^2$$

$$T_{\text{gases}} = \text{Temperatura promedio de los gases de escape} = 200^\circ\text{C} = 851.67^\circ\text{R}$$

$$R = \text{Constante específica del aire} = 53.34 \text{ (lbf-ft)/(lb}^\circ\text{R)}$$

$$\rho_{\text{gases}} = 0.046 \text{ lb/ft}^3$$

Las velocidades económicas recomendadas fluctúan entre 25 y 30 ft/s.

Para este caso se elige 30 ft/s aplicando la ecuación de continuidad se tiene que la sección transversal de la chimenea es:

$$A = m_{\text{gases}} / \rho_{\text{gases}} \text{ velocidad}$$

Donde:

$$A = \text{Área transversal de la chimenea, ft}^2$$

$$m_{\text{gases}} = \text{Flujo másico de los gases} = 2804.75 \text{ lb/h} = 0.779 \text{ lb/s}$$

$$\rho_{\text{gases}} = \text{densidad de los gases} = 0.046 \text{ lb/ft}^3$$

$$A_c = 0.56 \text{ ft}^2$$

De manera que las chimeneas son construidas de forma cilíndrica, el diámetro de la misma es:

$$A_c = \pi D^2/4$$

$$D = 0.72 \text{ ft.}$$

$$D = 22 \text{ cm.}$$

Medición del Tiro y Altura de la Chimenea.

Un tiro correcto es esencial para el funcionamiento eficiente del quemador. La intensidad del tiro determina la velocidad de paso de los gases de la combustión a través de la caldera y además fija también la cantidad de aire aportado a la combustión, un tiro excesivo puede incrementar la temperatura de los gases y disminuir el porcentaje de

dióxido de carbono, o sea disminuir la eficiencia o rendimiento de la combustión.

Como el tiro de la caldera no debe de ser menor que 0.5 mm de columna de agua entonces, para este caso será de 1.2 mm columna de agua. Estimando en la ciudad de Guayaquil una temperatura de bulbo seco de 30°C.

La altura de una caldera puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{D}{0.52P\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_E}\right)}$$

Donde:

D = Presión de tiro en pulg de columna de agua = 0.048 pulg de agua
(1.2 mm de agua)

H = Altura de la chimenea en pies.

P = Presión atmosférica en lb/pulg² absoluta = 14.7 Psi.

T_o = Temperatura absoluta del aire exterior (86°F+460) = 546

T_g = Temperatura absoluta del gas de la chimenea ($392^{\circ}\text{F}+460$) = 852

H = 9.54 ft = 2.91 m.

CAPÍTULO 7

7. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN LA CALDERA.

Las calderas seleccionadas deberán de estar dotadas de controles automáticos los mismos que cumplirán las funciones básicas de:

- Regulación; y,
- Seguridad (protección).

El funcionamiento eficaz de la caldera se debe a los diferentes instrumentos de medición instalados en ella, los cuales se encargan de regular los diferentes sistemas como agua de alimentación, combustible, etc.

La verificación de la eficiencia de operación de cada uno de ellas debe de ser frecuente y rigurosa ya que las calderas son equipos industriales de alto peligro, esta verificación puede ser efectuada a través de los instrumentos de medición de temperatura, presión, composición química de gases de combustión, etc.

Al momento de seleccionar la caldera que para este caso es de 60 C.C, esta ya viene con sus dispositivos de control integrados, por lo que el objetivo es el de verificar el cumplimiento de las funciones indicadas anteriormente.

A continuación se describen los dispositivos de control más importantes para las calderas.

7.1. Control de la Combustión.

La regulación y control de la combustión son requeridos para mantener constante la presión de vapor en la caldera.

El controlador de la presión de vapor ajusta la válvula de control de combustible. La señal procedente del caudal de aire es modificada por un relé de relación para ajustar la relación entre el aire y el combustible para luego pasar a un controlador que la compara con la señal de caudal de combustible. Si la proporción no es correcta, entonces se emite una señal al servomotor de mando del ventilador o a la válvula de mariposa, de modo que el caudal de aire se ajuste hasta que la relación aire-combustible sea la correcta.

Los tres tipos básicos de control para la combustión son:

- Todo o Nada.
- Proporcional.
- Integral.

Control Todo o Nada.

También llamado on-off este control trabaja entre dos niveles de presión, para suministrar y detener el suministro de aire así como también la alimentación de combustible.

Control proporcional.

Este tipo de control mantiene una presión constante de vapor así como una combustión eficiente, pero no puede mantener un alto nivel de presión.

La respuesta de presión de vapor está basada en la hipótesis que el registro de aire en una posición dada suministrará suficiente aire para que el caudal dado de combustible, se mantenga una relación de combustible-aire constante a través del rango de la carga

Control integral.

Este tipo de control va un paso más allá del control proporcional, ya que puede regular los caudales de aire y combustible, así como las pérdidas de tiro.

La acción integral genera una señal proporcional al mantenimiento del error. Cuando más tiempo permanezca el error, mayor será la respuesta generada por la acción integral.

Por lo tanto el sistema de control integral funciona con una mayor precisión, lo cual es más conveniente en calderas que operan con cargas fluctuantes por largos periodos de tiempo.

7.2. Control del Nivel del Agua de Alimentación.

La regulación del agua de alimentación que mantiene el nivel de la caldera depende de muchos factores que son:

- Del tipo de caldera.
- De la carga.
- Del tipo de bomba.
- Del control de presión del agua de alimentación.

El sistema de control del agua de alimentación puede realizarse de acuerdo con la capacidad de producción de vapor de la caldera; la tabla 19 sirve como guía para escoger el tipo de control.

TABLA 19
SISTEMAS DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA

TIPO	VARIABLES	CAPACIDAD DE LA CALDERA (Kg/h)		
		< 6000	6001 – 15000	> 15000
Un elemento	Nivel de agua	Cargas irregulares.	Pequeños cambios de cargas.	Cargas mantenidas
Dos elementos	Nivel de agua. Caudal de vapor.	Cargas irregulares con grandes fluctuaciones	Cambios de cargas moderadas	Cambios lentos de cargas moderada
Tres elementos	Nivel de agua. Caudal de vapor. Caudal de agua			>20000

Fuente de información: Texto Calderas Industriales y Marinas

De acuerdo a la tabla anterior para un generador de vapor de 60 C.C (939 Kg/h), se selecciona el sistema de control de un elemento, es decir, el que tiene como única variable el nivel de agua, cuyo controlador actúa sobre la válvula de agua de alimentación, con dos alarmas, de nivel alto y de nivel bajo, las cuales actúan poniendo en funcionamiento la bomba de agua de alimentación.

7.3. Seguridad de llama.

El control de la llama es muy importante desde el punto de vista de seguridad en la operación de las calderas.

Para que sea correcto el funcionamiento de los quemadores, estos necesitan que la llama producida por el combustible sea estable y de calidad, y que se mantenga en estas condiciones mientras el quemador se encuentre en marcha.

Detectores de llama.

Ante una falla en la llama, el sistema de protección debe actuar inmediatamente a través de detectores excitando el circuito eléctrico de enclavamiento.

Los detectores de llama funcionan en base a varias características de la llama, tales como: calor, ionización y radiación ultravioleta; sin embargo para el caso de calderas que queman combustible líquido, los detectores que mejor se adaptan son los de principio de radiación ultravioleta por la gran seguridad que ofrecen, es por eso que se la utilizará para el generador de vapor que se seleccionó.

Estos detectores consisten en un tubo que contienen dos electrodos de tungsteno, el tubo es de material permeable a la radiación ultravioleta, cuarzo por ejemplo y está lleno de un gas inerte.

Programadores.

Los detectores de llama están conectados a programadores con relés de seguridad de llama que pueden abarcar desde una simple alarma de

falla que incluya la parada del generador de vapor hasta una programación completa que realice funciones tales como:

- Prebarrido o prepurga (limpieza de los gases acumulados desde la última combustión en el hogar hasta antes de cada encendido).
- Encendido de la llama piloto.
- Encendido de la llama principal.
- Parada de la instalación con enclavamiento secuencial.
- Postbarrido (limpieza de los gases quemados).

7.4. Descripción de los controles comunes de las Calderas.

Entre los principales componentes de los controles de las calderas se tienen los siguientes:

- Transformador para la ignición (encendido).
- Motor modulador del registro de aire.
- Interruptor de baja combustión.
- Interruptor de quemador. Interruptor manual-automático.
- Control manual de la llama.
- Transformador del motor modulador del registro.
- Conjunto regulador del combustible.

- Presostatos.

Transformador para la ignición (encendido).

Provee una chispa de alto voltaje para la ignición (encendido) del piloto de diesel.

Motor modulador del registro de aire.

Este hace mover al registro rotativo del aire y modula las válvulas de combustibles por medio de levas y un sistema articulado para asegurar la proporción correcta de aire-combustible bajo toda condición de carga.

Interruptor de baja combustión.

Este actúa sobre el eje del motor modulador del registro. El interruptor tiene que estar cerrado para que se encienda el quemador en posición de baja combustión. Este dispositivo evita el encendido del quemador a menos que el motor modulador haya vuelto a colocar el registro rotativo

del aire y la válvula reguladora del combustible también a la posición de baja combustión. Este motor es una parte integral del motor.

Interruptor de quemador.

Su operación es manual, indica y para la operación del quemador por medio de una conexión directa.

Interruptor manual-automático.

Este interruptor puede ser accionado en las posiciones manual y automático.

En la posición de automático toda operación queda bajo el control modulador que gobierna la posición del motor modulador según lo demande la carga.

En la posición manual, el motor modulador es ajustado para la asignación apropiada de la combustión por medio del control manual de

la llama. Este control de prueba y ajustes se usa para establecer la proporción de aire-combustible a través de todo campo de asignaciones de combustión.

Control manual de la llama.

Este control se lleva a cabo por medio de un potenciómetro accionado manualmente, este permite establecer la asignación adecuada de la combustión en el quemador a través del motor modulador cuando el interruptor manual-automático queda en la posición manual.

Básicamente este control se lo emplea para establecer la asignación de entrada del combustible para todo el campo de asignaciones de combustión al inicio o en ajustes subsiguientes.

Transformador del motor modulador del registro.

El objetivo de este transformador es el de reducir el voltaje del circuito de control al voltaje apropiado para la operación del modulador.

Conjunto regulador del combustible.

Para el caso de la caldera Pirotubular comprenden los siguientes elementos:

a. Válvula medidora de combustible.

Su función es la de mover la cabilla de la válvula para aumentar y disminuir el orificio variable y así se regula el abastecimiento de combustible al inyector del quemador según la demanda de carga. El movimiento de la cabilla medidora es controlado por medio de un sistema articulado y así mismo por la leva medidora del combustible.

b. Leva medidora del combustible.

Consiste de un sector oscilante de una serie de tornillos de ajuste y un resorte de perfil que permiten al operador ajustar la entrada de combustible en toda asignación del campo de modulación.

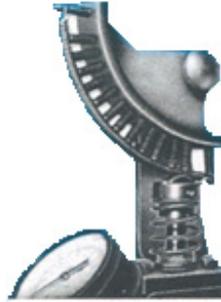


FIGURA 7.1 LEVA DOSIFICADORA DE COMBUSTIBLE.

c. Manómetro de la presión del quemador.

Indica la presión del combustible al punto de la válvula medidora.

d. Regulador de la presión del combustible.

Sirve para ajustar la presión del combustible al punto de la válvula medidora.

e. Válvulas solenoides del combustible.

Son accionados por los contactos del programador y al ser energizadas permiten el paso del combustible. Cuando se interrumpe el circuito eléctrico hacia la bobina de la válvula, esta se desenergiza cayendo su núcleo y la válvula, obturando así la circulación del combustible.

Presostatos.

Los Presostatos son dispositivos de control de presión con fines de proporcionar la seguridad operacional de los generadores de vapor, su función es limitar los excesos de presión de vapor actuando en combinación con el circuito eléctrico que está a su vez conectado con el motor del quemador.

Los Presostatos también pueden ser usados en el circuito de combustible para detectar fallas por baja presión del combustible, la misma que no sea suficiente para mantener una adecuada combustión.

CAPÍTULO 8

8. CÁLCULOS DE TUBERIAS DE VAPOR, DE RETORNO DE CONDENSADO Y SELECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR.

El sistema de distribución de vapor constituye el objetivo de la generación de vapor desde la caldera y vendría a ser el medio de enlace entre ésta y los diferentes puntos de consumo.

Como se sabe, en los procesos industriales se usa vapor saturado y las tablas de este tipo de vapor nos indican que a cada presión corresponde una determinada temperatura.

El aire y la humedad son dos elementos indeseables en el vapor por las siguientes causas:

- 1) El aire contenido en el vapor hace disminuir su temperatura.
- 2) La humedad hace disminuir su valor o poder calorífico.

Las tuberías de retorno de condensado son las que se encargan de regresar al tanque de condensado el agua caliente que resulta de la transferencia de calor latente del vapor al producto que está siendo procesado, además en las tuberías se encuentran trampas de vapor las cuales se encargan de extraer el aire y el condensado formado.

8.1. Parámetros Necesarios para Dimensionar Tuberías de Vapor.

Para dimensionar e instalar las tuberías de vapor hay que tomar en cuenta ciertos parámetros, ya que el vapor no llega a los equipos en las condiciones de presión y temperatura esperada.

Los parámetros necesarios para dimensionar tuberías de vapor son:

- Caudal másico (lb/h o kg/h)
- Presión de vapor (kg/cm^2)

- Caída de presión máxima admisible (kg/cm^2)
- Longitud total de la tubería (m)

Caudal másico: es el flujo de vapor que pasa a través de una tubería de vapor o es la suma de los caudales máximos que consumirían los equipos conectados a la tubería.

Presión de vapor: es la presión al comienzo del tramo de la tubería o a calcular teniendo en cuenta de no tomar tramos mayores de 100 metros.

Caída de presión máxima admisible: es la diferencia entre la presión disponible al comienzo del tramo y la presión necesaria al final del mismo.

Longitud total de la tubería: es la longitud de tubería horizontal más la longitud debida a las válvulas, codos, conexiones, etc.

Las observaciones más importantes para el cálculo de tuberías de vapor son:

- Mientras más baja sea la presión del vapor, mayor tamaño de tubería se requerirá debido al incremento que sufre el volumen específico.
- A mayor caudal (es decir, a mayor velocidad) se incrementa la caída de presión para un determinado tamaño de tubería.
- Debido a las altas velocidades que acompañan a toda caída de presión, el vapor erosionará más fácilmente las tuberías especialmente en los codos y en los cambios de dirección.
- El vapor que fluya en una tubería a altas velocidades puede producir ruidos infernales.

8.2. Distribución de las Tuberías.

La distribución de tubería esta depende directamente de las maquinas que usan vapor para así poder distribuirla con mejor facilidad. Deberá elegirse la más optima que asegure un buen funcionamiento y considerando que no se produzcan caídas de presión significativas, y evite pérdidas excesivas de calor por radiación y convección.

En la figura 8.1 se muestra un esquema de la distribución de tuberías de vapor principales y secundarias con sus respectivos accesorios.

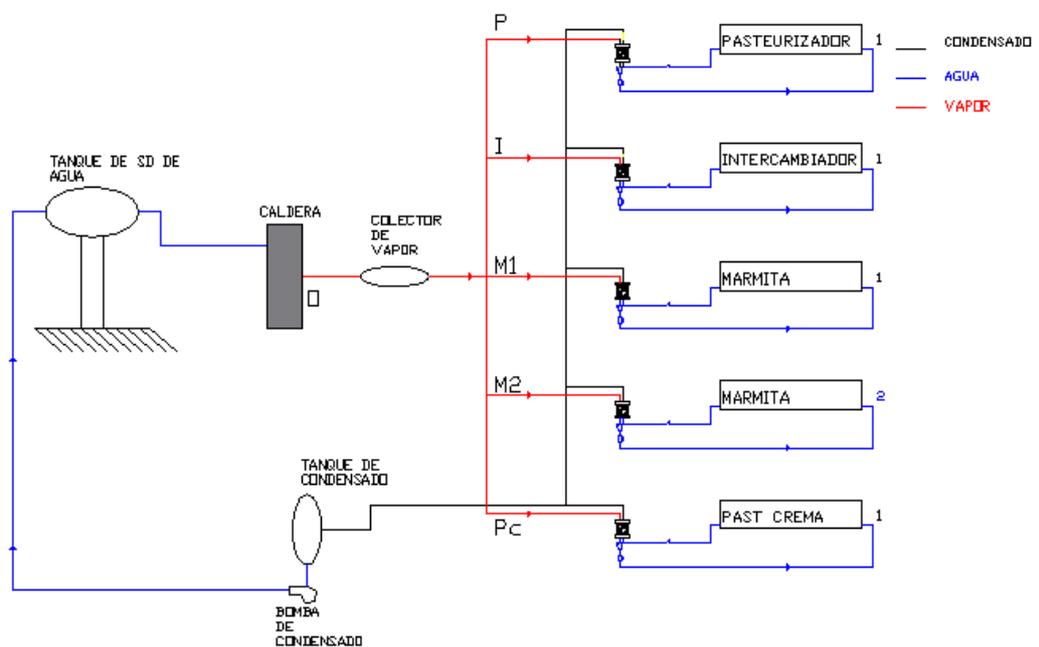


FIGURA 8.1. DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS PARA EL SISTEMA DE VAPOR

8.3. Cálculo y Dimensionamiento de las Tuberías de Vapor.

El método para calcular y dimensionar las tuberías de vapor se basa en diagramas experimentales, estas son usadas en caldera industriales de

capacidad mediana. Para realizar los cálculos se tiene que hacer uso de los diagramas 8.2 y 8.3. (Apéndices K y L)

Las velocidades convenientes para tuberías de vapor fluctúan entre los 15 y 60 m/s. Normalmente en tuberías principales de distribución se debe adoptar velocidades elevadas de hasta 50 m/s.

Para tramos de conexión a equipos, en cambio se recomienda adoptar velocidades inferiores de alrededor de los 20 m/s.

Según la norma ASTM A-53 para conducciones de fluidos, la presión de prueba va desde 700 hasta 2500 Psi, de acuerdo al diámetro de la tubería a elegir.

En la tabla 20 (Apéndice J) se muestran las características para tuberías de vapor elegida, de acuerdo a su diámetro nominal.

El procedimiento para seleccionar tuberías de vapor se lo especifican en varios pasos ya que se debe de tener en cuenta la figura 8.1, la que nos proporcionará varios datos de la misma.

1. Se entra al diagrama 8.2 (Apéndice K) por la parte inferior izquierda con el caudal en kg/h que debe circular por la tubería, luego es necesario desplazarse horizontalmente hasta interceptar la línea de presión a la que corresponda el caudal.
2. A partir de ese punto de intercepción se asciende verticalmente hasta la parte superior del diagrama y en la zona de velocidad adecuada e indicada a la derecha del diagrama.
3. Inmediatamente se deberá leer el tamaño, (diámetro) de la tubería correspondiente (en caso que el punto de lectura quede intercalado se deberá tomar el tamaño o diámetro inmediato superior).

4. Se procede a calcular la caída de presión una vez determinado el diámetro de la tubería. Se entra al diagrama 8.3 (Apéndice L) por la parte inferior con el caudal de vapor, luego se asciende a la parte superior hasta interceptar las líneas inclinadas correspondientes al diámetro de la tubería seleccionada. A partir de ese punto de intercepción es necesario desplazarse hacia la izquierda para tomar datos de la caída de presión por cada 100 metros de tubería.

5. Para recorridos bastantes rectos es recomendable tomar un 10% más de longitud para incluir en los cálculos las caídas de presión debidas a los accesorios, (válvulas, codos, etc.)

6. Si la suma de caída de presión en cada uno de los tramos de tubería resulta superior a la máxima permisible, se deberían repetir los pasos a base de velocidades inferiores por lo que se tendría que aumentar el diámetro de la tubería.

De acuerdo con la figura 8.1 la distribución de las tuberías está dada por seis tramos para las dos calderas que están conectadas a un colector, las cuales están constituidas por un tramo principal y cinco tramos conectados a maquinaria.

La demanda de vapor se calculó en el capítulo 4. Los tramos para las calderas son los siguientes:

TRAMOS PRINCIPALES: (A - O).

TRAMOS A EQUIPOS: (A - P), (A - I), (A - M1), (A - M2), (A - Pc).

La caída de presión, para tubería de vapor se determina que es aproximadamente de 2 Psi por cada 100 ft de tubería. Considerando que el tramo más largo es de 117 ft y añadiendo un 10% de seguridad debido a la presencia de accesorios, se tendrá la siguiente caída de presión.

$$(2/100) * (117 + 1.17) = 2.36 \cong 3 \text{ Psi}$$

Para las marmitas 1 y 2 la longitud de la tubería es la misma y el mismo caudal de vapor por ende va a tener la misma caída de presión y los mismos diámetros de tubería de vapor.

8.3.1. Cálculos de las Tuberías de Vapor Principal.

Para calcular las tuberías de vapor principal, se toma como referencia la figura 8.1, reconociendo los tramos principales, y utilizando las figuras 8.2 y 8.3 (Apéndices K y L) para calcular las otras variables.

TRAMO (A – O).

Caudal de vapor = 1305 kg/h

Presión de vapor al inicio del tramo = $10.25 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ Bar}$

Longitud del tramo = 10m.

De la figura 8.2 (Apéndice K) se tiene:

Diámetro de la tubería = 2"

Velocidad del vapor = 20 m/s.

De la figura 8.3 (Apéndice L) se tiene:

Factor de corrección = 0.69

Caída de presión = $((1.3 \text{ kg/cm}^2)/100)*(0.69) = (0.00897 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$.

Presión final de vapor = $(10.25 \text{ kg/cm}^2)-(10+1.10\text{m})(0.00897 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$

Presión final de vapor = 10.15 kg/cm^2

8.3.2. Cálculos de las Tuberías de Vapor Secundarias.

Para calcular las tuberías de vapor secundarias, se toma como referencia la figura 8.1, reconociendo los tramos secundarios, y utilizando las figuras 8.2 y 8.3 (Apéndices K y L) para calcular las otras variables.

TRAMO (O – P).

Caudal de vapor = 247.72 kg/h

Presión de vapor al inicio del tramo = 10.15 kg/cm^2

Velocidad permisible = $<20 \text{ m/s}$

Longitud del tramo = 15m.

De la figura 8.2 (Apéndice K) se tiene:

Diámetro de la tubería = 1”

Velocidad del vapor = 18 m/s

De la figura 8.3 (Apéndice L) se tiene:

Factor de corrección = 0.69

Caída de presión = $((1.1 \text{ kg/cm}^2)/100) \cdot (0.69) = (0.00759 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$.

Presión final de vapor = $(10.15 \text{ kg/cm}^2) - (15 + 1.10\text{m})(0.00759 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$

Presión final de vapor = 10.02 kg/cm²

TRAMO (O – I).

Caudal de vapor = 460 kg/h

Presión de vapor al inicio del tramo = 10.15 kg/cm²

Velocidad permisible = <20m/s

Longitud del tramo = 10m.

De la figura 8.2 (Apéndice K) se tiene:

Diámetro de la tubería = 1 ½”

Velocidad del vapor = 17 m/s

De la figura 8.3 (Apéndice L) se tiene:

Factor de corrección = 0.69

Caída de presión = $((0.55 \text{ kg/cm}^2)/100)*(0.69) = (0.00379 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$.

Presión final de vapor = $(10.15 \text{ kg/cm}^2)-(10+1.10\text{m})(0.00379 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$

Presión final de vapor = 10.10 kg/cm^2

TRAMO (O – M1).

Caudal de vapor = 123.8 kg/h

Presión de vapor al inicio del tramo = 10.15 kg/cm^2

Velocidad permisible = $<20 \text{ m/s}$

Longitud del tramo = 10m.

De la figura 8.2 (Apéndice K) se tiene:

Diámetro de la tubería = 3/4"

Velocidad del vapor = 16 m/s

De la figura 8.3 (Apéndice L) se tiene:

Factor de corrección = 0.69

Caída de presión = $((1.4 \text{ kg/cm}^2)/100)*(0.69)=(0.0096\text{kg/cm}^2)/\text{m}$.

Presión final de vapor = $(10.15 \text{ kg/cm}^2) - (10 + 1.10\text{m})(0.0096 \text{ kg/cm}^2/\text{m})$

Presión final de vapor = 10.04 kg/cm^2

TRAMO (O – M2).

Caudal de vapor = 123.8 kg/h

Presión de vapor al inicio del tramo = 10.15 kg/cm^2

Velocidad permisible = $<20 \text{ m/s}$

Longitud del tramo = 12m .

De la figura 8.2 (Apéndice K) se tiene:

Diámetro de la tubería = $3/4"$

Velocidad del vapor = 16 m/s

De la figura 8.3 (Apéndice L) se tiene:

Factor de corrección = 0.69

Caída de presión = $((1.4 \text{ kg/cm}^2)/100) * (0.69) = (0.0096 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$.

Presión final de vapor = $(10.15 \text{ kg/cm}^2) - (12 + 1.10\text{m})(0.0096 \text{ kg/cm}^2/\text{m})$

Presión final de vapor = 10.02 kg/cm^2

TRAMO (B – PCREMA).

Caudal de vapor = 350 kg/h

Presión de vapor al inicio del tramo = 10.15 kg/cm²

Velocidad permisible = <20 m/s

Longitud del tramo = 10m

De la figura 8.2 (Apéndice K) se tiene:

Diámetro de la tubería = 1 ½”

Velocidad del vapor = 13 m/s

De la figura 8.3 (Apéndice L) se tiene:

Factor de corrección = 0.69

Caída de presión = $((0.35 \text{ kg/cm}^2)/100) \cdot (0.69) = (0.0024 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$.

Presión final de vapor = $(10.15 \text{ kg/cm}^2) - (10 + 1.10\text{m})(0.0024 \text{ kg/cm}^2)/\text{m}$

Presión final de vapor = 10.12 kg/cm²

En la tabla 21, se muestran los valores que se calcularon para cada tramo de tubería, en la línea de vapor.

TABLA 21

**CARACTERISTICAS DE LOS TRAMOS DE LAS TUBERIAS DE VAPOR
PRINCIPALES Y SECUNDARIAS**

Tramo	Longitud (m)	Caudal (kg/h)	Diámetro(pulg)	Velocidad(m/s)	Caída de Presión kg/cm²
(A-O)	10	1305	2	20	0.0089
(O-P)	15	247.72	1	18	0.0075
(O-I)	10	460	1 1/2	17	0.0037
(O-M1)	10	123.8	3/4	16	0.0096
(O-M2)	12	123.8	3/4	16	0.0096
(O-PC)	10	350.52	1 1/2	13	0.0024

Una vez determinada la selección de tuberías se tiene que considerar que será necesaria la utilización de válvulas reductoras de presión para regular el vapor a las presiones requeridas por los equipos consumidores.

8.4. Cálculos y Dimensionamiento de las Tuberías de Retorno de Condensado.

La manera más sencilla de recuperar el condensado sería devolverlo directamente desde cada trampa de vapor a la caldera o al tanque de condensado pero cuando se trabaja con muchas trampas esta solución sería muy costosa.

Es mucho más lógico dirigir la salida de las distintas trampas a un conducto común que dirija a la caldera o condensado.

El principal problema de dimensionamiento de este tipo de tuberías reside en el efecto del revaporizado. El condensado antes de ser descargado por las trampas de vapor, es agua caliente a la presión de trabajo de la instalación.

Una vez descargado pasa a ser agua caliente a la presión de la línea de condensado, mas cierta cantidad de revaporizado.

Esto impide calcular la dimensión de las tuberías como si se tratara simplemente de tuberías de agua. Para casos prácticos y como aproximación se va a describir un procedimiento sencillo basado en tres periodos de funcionamiento.

Puesta en marcha: tanto como el aire y el condensado frío son descargados a través de trampas de vapor.

Precalentamiento: la trampa de vapor descarga gran cantidad de condensado frío debido a que la instalación no llega a temperatura de régimen, durante ese periodo se tiene una excepcional cantidad de condensado (2 ó 3 veces el régimen) y una gran caída de presión en el aparato, por lo que se tiene una cantidad muy pequeña de revaporizado.

Régimen: una vez que la instalación ha llegado a la temperatura deseada, el caudal de condensado se reduce al normal de régimen, pero como el condensado tiene ahora una temperatura próxima a la del vapor, se tendrá revaporizado.

La experiencia indica que si se diseña la tubería de retorno, como si se tratase de una tubería de agua, con el caudal correspondiente a las condiciones del precalentamiento, será capaz de transportar el condensado y revaporizado de régimen.

Para el dimensionamiento de las tuberías de condensado se debe considerar una velocidad adecuada de 5.000 ft/min. Con esta velocidad se tratará de evitar presiones excesivas y deterioro en las tuberías de retorno.

Por otro lado no es conveniente trabajar con caídas de presión elevadas en las tuberías de retorno, pues esta anomalía produce una reducción de la capacidad de descarga de las trampas de vapor, especialmente en el momento de puesta en marcha, cuando el caudal de condensado es máximo y la presión es mínima. Por otra parte tampoco es recomendable sobredimensionar las tuberías de retorno puesto que esto sería antieconómico, por lo tanto se sugiere dimensionar las tuberías de

condensado en un rango de caídas de presión entre 0.05 a 0.1 kg/cm² por cada 100 metros de tubería.

La tubería a ser utilizada en este sistema de recuperación de condensado es un acero 3801 TSC4 T.S/COST CED 40 ASTM-A53, para conducción de fluidos.

El método para calcular y dimensionar las tuberías de retorno de condensado se basa en diagramas experimentales, estas son usadas en caldera industriales de capacidad mediana. Para realizar los cálculos se tiene que hacer uso de la figura 8.4 (Apéndice M).

Los datos necesarios para dimensionar las tuberías de retorno de condensado son:

- Presión de vapor
- Carga de condensado
- Presión de tubería de retorno
- Velocidad permisible en la tubería de retorno

Procedimiento

- 1) Se debe encontrar la velocidad permisible en ft/min por cada 100 lb/h.

$$V_{\text{sistema}} = V_{\text{permisible}} * 100 / \text{caudal condensado}$$

- 2) Con el dato de la presión del vapor y la presión de retorno, se ingresa al diagrama para encontrar el factor de escala.
- 3) La velocidad obtenida en el literal 1 se la divide para el factor de escala, para así hallar el valor final de la velocidad en ft/min por cada 100 lb/h.
- 4) Con el valor de la velocidad corregida se entra a la figura 8.4 (Apéndice M) para encontrar el punto de intercepción que forme con el dato de la presión de vapor y así tomando nota del diámetro de la tubería, Si el diámetro se encuentra entre dos de esta líneas se deberá tomar el inmediato superior.

- 5) A continuación se calcula la caída de presión empleando la figura 8.5 (Apéndice N), para dicho efecto, se entra al diagrama por la parte derecha con el caudal de condensado, luego hay que desplazarse horizontalmente hasta interceptar la línea inclinada correspondiente al diámetro de la tubería escogida anteriormente. A partir de este punto de intercepción es necesario desplazarse verticalmente hacia arriba para leer la caída de presión por cada 100 metros de tubería.

- 6) Luego hay que multiplicar esta caída de presión por la longitud de tubería recta, para recorridos bastantes rectos es recomendable tomar un 10% más de longitud para incluir en los cálculos las caída de presión debidas a los accesorios, (válvulas, codos, etc.).

- 7) Si la suma de caída de presión en cada uno de los tramos de tubería resulta superior a la máxima permisible, se deberían repetir los pasos a base de velocidades inferiores por lo que se tendría que aumentar el diámetro de la tubería.

Los caudales de vapor son los siguientes considerando los rangos de caída de presión de 0.05 a 0.1 kg/cm² y tomando un factor de 2 ya que esto nos da mayor confiabilidad y con una velocidad de 5000 ft/min en el sistema.

TABLA 22
CAUDALES DE VAPOR DE LOS EQUIPOS CON SU RESPECTIVO FACTOR DE REGIMEN

Caudales de vapor para una fábrica de Yogurt y Crema de Leche			
Punto	sección	Flujo disponible(kg/h)	Factor 2(kg/h)
P	1 Pasteurizador	247.72	495.4
I	1 Intercambiador de placas	460.9	921.8
M	2 Marmitas	247.5	495
P	1 Pasteurizador de crema	350.52	700

Se usa el diagrama la figura 8.4 (Apéndice M) para poder calcular los diámetros de las tuberías de retorno de condensado.

TRAMO (P – C).

Presión de vapor = 80 Psi

Presión en la tubería de retorno = 15 Psi

Caudal de condensado = $247.72 \text{ kg/h} \times 2 = 495.44 \text{ kg/h} = 1089.88 \text{ lb/h}$

Velocidad permisible = 5000 ft/min

Aplicando el procedimiento de cálculo se tiene:

$V_{\text{sistema}} = (5000 \text{ ft/min}) \times 100 / (1089.88 \text{ lb/h}) = 458.76 \text{ ft/min}$

De la figura 8.4 se tiene:

Factor de escala = 0.35

$V_{\text{corregida}} = (458.76 / 0.35 \text{ ft/min}) = 1310.74 \text{ ft/min}$

Diámetro de la tubería = 1"

TRAMO (I – C).

Presión de vapor = 80 Psi.

Presión en la tubería de retorno = 15 Psi

Caudal de condensado = $460.9 \text{ kg/h} \times 2 = 921.8 \text{ kg/h} = 2027.96 \text{ lb/h}$

Velocidad permisible = 5000 ft/min

Aplicando el procedimiento de cálculo se tiene:

$$V_{\text{sistema}} = (5000 \text{ ft/min}) \times 100 / (2027.96 \text{ lb/h}) = 246 \text{ ft/min.}$$

De la figura 8.4 se tiene:

$$\text{Factor de escala} = 0.35$$

$$V_{\text{corregida}} = (246 \text{ ft/min}) / 0.35 = 702.8 \text{ ft/min}$$

$$\text{Diámetro de la tubería} = 1 \frac{1}{4}''$$

TRAMO (M – C).

$$\text{Presión de vapor} = 40 \text{ Psi}$$

$$\text{Presión en la tubería de retorno} = 5 \text{ Psi.}$$

$$\text{Caudal de condensado} = 123.75 \text{ kg/h} \times 2 = 247.5 \text{ kg/h} = 544.5 \text{ lb/h}$$

$$\text{Velocidad permisible} = 5000 \text{ ft/min.}$$

Aplicando el procedimiento de cálculo se tiene:

$$V_{\text{sistema}} = (5000 \text{ ft/min}) \times 100 / (544.5 \text{ lb/h}) = 918.27 \text{ ft/min.}$$

De la figura 8.4 se tiene:

$$\text{Factor de escala} = 0.6$$

$$V_{\text{corregida}} = (918.27 \text{ ft/min}) / 0.6 = 1530 \text{ ft/min}$$

$$\text{Diámetro de la tubería} = \frac{3}{4}''$$

TRAMO (Pc – C).

Presión de vapor = 100 Psi

Presión en la tubería de retorno = 15 Psi

Caudal de condensado = $350.52 \text{ kg/h} \times 2 = 701 \text{ kg/h} = 1542 \text{ lb/h}$

Velocidad permisible = 5000 ft/min

Aplicando el procedimiento de cálculo se tiene:

$V_{\text{sistema}} = (5000 \text{ ft/min}) \times 100 / (1542 \text{ lb/h}) = 324 \text{ ft/min.}$

De la figura 8.4 se tiene:

Factor de escala = 0.37

$V_{\text{corregida}} = (324 \text{ ft/min}) / 0.37 = 876.19 \text{ ft/min}$

Diámetro de la tubería = 1 1/4"

En la tabla 23 se muestran los valores calculados de los diámetros de las tuberías para retorno de condensado.

TABLA 23
DIÁMETROS DE TUBERÍA PARA RETORNO DE CONDENSADO

Punto	Sección	Flujo disponible (kg/h)	Diámetro (in)	Caída de presión kg/cm²
P	Pasteurizador	247.7	1	0.05-0.1
I	Intercambiador de placas	460.9	1 ¼	0.05-0.1
M	Marmitas	123.75	¾	0.05-0.1
P	Pasteurizador de crema	350.52	1 ¼	0.05-0.1

En la figura 8.6 se puede observar un esquema y de manera muy resumida las instalaciones de los equipos de retorno de condensado de vapor, de acuerdo a los diámetros de las tuberías calculadas para cada sección las cuales retornan por una tubería común de 2 pulgadas, con el fin de recibir los caudales individuales de cada equipo.

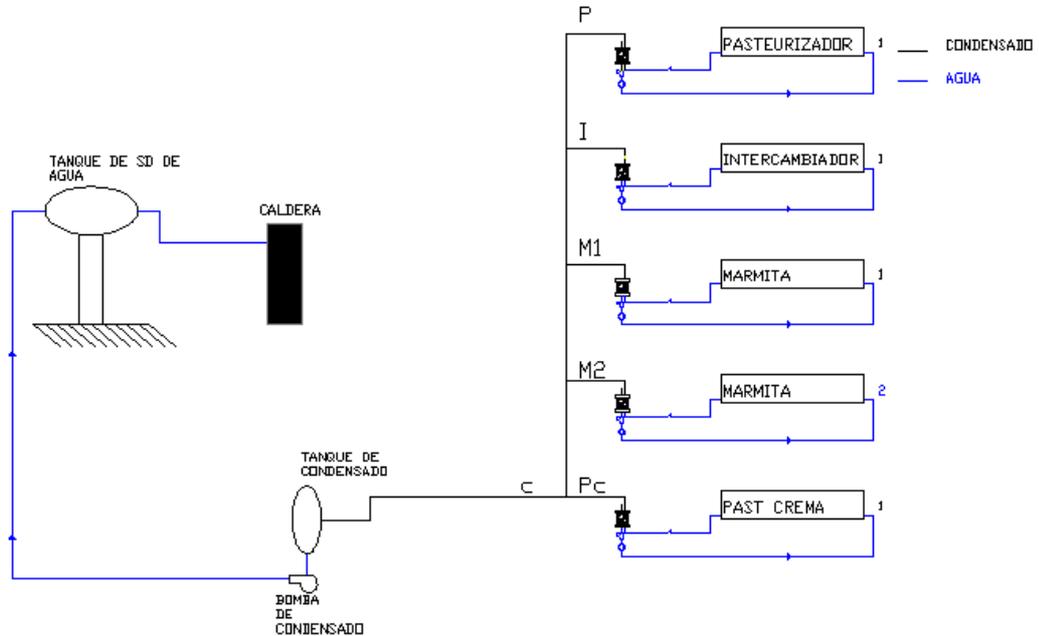


FIGURA 8.6. ESQUEMA DE LA LÍNEA DE RETORNO DE CONDENSADO.

8.5. Descripción del Aislamiento de la Tubería de Vapor y de Retorno de Condensado.

El aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Los aislamientos térmicos de buena calidad son costosos, pero se lo debe de realizar para obtener una gran eficiencia del vapor y a la vez ahorrar energía.

Una tubería sin aislar o mal aislada, aparte de las pérdidas de energía, ocasiona problemas mecánicos por el incremento de condensados, tales como:

- Al tener condensados adicionales a los producidos por los intercambiadores, las trampas de vapor deberán desalojarlos teniendo que trabajar más, con mayor desgaste y mayor mantenimiento.
- Ocurre mayor desgaste de tuberías por el transporte de condensados.
- Riesgo grande de golpes de ariete, principalmente en las tuberías mal drenadas.

Para que la instalación de un aislamiento térmico resulte óptima y se obtengan beneficios reales, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Aislar con la tubería, los accesorios adicionales tales como bridas y otros. Una brida sin aislar causa una pérdida equivalente a la de 30 cm de tubería.
- Trabajar el aislamiento de tal forma que por ningún motivo éste se humedezca. La presencia de agua en el aislamiento causa un

aumento muy importante de las pérdidas de calor. A la vez que si esta es continuada y la tubería no tiene un uso continuo, se puede presentar corrosión generalizada.

- No exagerar en el espesor del aislamiento, porque al duplicar éste sólo se reducen las pérdidas en aproximadamente un 25% con respecto al espesor original.

8.6. Clasificación de los Aislantes.

Los aislantes térmicos para tuberías de vapor y condensado pueden ser de dos formas:

- Materiales flexibles.
- Materiales rígidos.

Existen muchas variedades de aislantes térmicos, empleados en las plantas térmicas.

Para tuberías con temperaturas moderadas [61°F (16°C) - 211°F (99°C)] y tuberías con temperaturas altas [212°F (100°C) – 538°F (1000°C)], los aislamientos usualmente utilizados son:

- Vidrio celular (hasta +900°F)
- Poliuretano (hasta +220°F)
- Fibra de vidrio (hasta +850°F)
- Rockwool (hasta +1200°F)
- Lana mineral (hasta +800°F)
- Silicato de calcio (hasta +1200°F)
- Poliestireno (hasta +275°F)
- Plásticos poliolefina (hasta +210°F)
- Perlita expandida (hasta +1200°F)

8.7. Selección del Aislamiento y Espesor para la Tubería de Vapor y de Retorno de Condensado.

Para seleccionar el tipo de aislamiento se debe de tener en consideración las siguientes recomendaciones.

- El aislante deberá ser capaz de soportar la temperatura máxima de operación del fluido que circula por la tubería.
- El material aislante debe de tener una alta resistencia a la transferencia de calor.
- El material aislante debe de ser impermeable.
- Debe de ser de fácil adquisición en el mercado.

Según las recomendaciones de los proveedores Fiberglass, el sistema más adecuado para cubrir tuberías de vapor y condensado es la aplicación de aislamientos preformados en medias cañas y puede ser en una o varias capas (nesting o anidados) dependiendo del espesor requerido. En la mayoría de los casos se utiliza una sola capa, sin embargo, varias capas pueden requerirse para el montaje de un aislamiento en espesores grandes, para tuberías con temperaturas muy altas; en estos casos durante la instalación debe evitarse que coincidan las uniones y es recomendable dejar en la pared caliente de la tubería el mayor espesor de cañuela posible.

Generalmente el terminado o acabado exterior se aplica en el sitio de instalación, pero en algunos casos el aislamiento puede traer incorporado de fábrica el terminado.

Entonces para las tuberías de vapor y condensado de la planta, se utilizará el aislamiento denominado Cañuela amplio rango que es un aislamiento compuesto de lana de vidrio rígida, preformada en forma de

medias cañas con un laminado de foil de aluminio FRK, que puede soportar temperaturas de hasta 454°F (850°C). Sus principales características son las siguientes:

- Conductividad térmica. 0.035 W/°C. m²
- Temperatura máxima de aplicación. Hasta 454°F (850°C).
- Absorción de la humedad. Máximo 0.2% en volumen en 96 horas a 120°F (49°C).
- Humedad relativa. 95%
- Característica de quemado superficial. FS/SD = 5/0

En la figura 8.7 se muestran varias capas de la lana de vidrio, que fue el aislante seleccionado para cubrir las tuberías de vapor y condensado.



FIGURA 8.7. CAPAS DE LA LANA DE VIDRIO (CAÑUELA AMPLIO RANGO)

Fuente de información: FiberGlass Colombia S.A.

El espesor del aislamiento depende de las características del material, el espesor del aislamiento aumenta según aumente el diámetro de la tubería.

Para el caso del aislamiento de Cañuela amplio rango, se tiene un diámetro nominal que va desde $\frac{1}{2}$ pulgada hasta 12 pulgadas en espesores de aislamiento de 1 pulgada hasta 3 pulgadas.

Para especificar mayores espesores, diferentes a los nominales, hasta 4 pulgadas se puede usar una o varias capas anidadas.

8.8. Trampas de Vapor.

La mayoría de las trampas para vapor funcionarán siempre que las condiciones de trabajo estén dentro de los rangos de presión y capacidad que posee la trampa, pero en un sistema de drenaje correcto, la idea es que la trampa además maximice la eficiencia y capacidad del

equipo de proceso. Una trampa mal escogida puede resultar en baja eficiencia.

Las trampas de vapor constituyen un complemento indispensable en todo sistema de vapor pues con estos elementos se consigue extraer el condensado que se forma y elimina el aire indeseable y los gases no condensables, por lo tanto una trampa de vapor no es otra cosa que una válvula automática, y que además impide la pérdida de vapor en el sistema.

8.9. Aplicaciones Industriales de las Trampas de Vapor.

Las trampas de vapor se las emplean en donde el vapor calienta directamente materiales sólidos, ó también el vapor puede calentar indirectamente un líquido a través de una superficie metálica, como intercambiadores de calor, marmitas, etc.

8.10. Tipos de Trampas de Vapor.

Las trampas de vapor son muy indispensables en una planta de vapor, hoy en día hay varios tipos de trampas de vapor entre las cuales se citan las siguientes:

- | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.- Trampas de Tipo Termostática | } | <p>Trampas de Tipo Termostática de presión equilibrada.</p> <p>Trampas de Tipo Termostática para expansión líquida.</p> <p>Trampas de Tipo Termostática bimetálicas.</p> |
| 2.- Trampas Tipo Mecánicas | } | <p>De Flotador y Termostática.</p> <p>De Balde (Invertido, Abierto)</p> |
| 3.- Trampas de Impulso | | |
| 4.- Trampas Termodinámicas | | |

8.11. Selección de Trampas de Vapor.

Las trampas de vapor son muy diversificadas, por lo tanto al seleccionar la trampa adecuada es un asunto bastante delicado, hay que tener en consideración algunos parámetros los cuales se citan a continuación.

- Cantidad de condensado que debe separar la trampa.
- Presión diferencial entre la entrada y la salida de la trampa.
- Factor de seguridad.

Para la selección de las trampas de vapor, cada equipo tiene su trampa ya especificada de acuerdo a la tabla 24 (Apéndice O).

TABLA 25

FACTORES DE SEGURIDAD PARA TRAMPAS DE VAPOR

TIPO DE TRAMPA	FACTOR DE SEGURIDAD
Trampas termostática	2 a 4
Trampa de expansión líquida	2 a 4
Trampa de flotador y termostática	1.5 a 2.5
Trampas termodinámicas	1.2 a 2
Trampas de balde	2 a 4

Fuente de información: compañía Armstrong

En la tabla 25 se muestran los diversos tipos de factores de seguridad para cada tipo de trampas de vapor.

Trampas del Pasteurizador. (Tipo Flotador termostático)

Factor de seguridad recomendado = 2

Caudal de condensado = 247.72 kg/h *2 = 495.44 kg/h

Presión máxima permitida = 80 Psi = 5.5 Bar

Presión diferencial = 80 Psi-15 Psi = 65 Psi = 4.5 Bar

Trampas de las Marmitas. (Tipo Flotador termostático)

Factor de seguridad recomendado = 2

Caudal de condensado = 247.5 kg/h *2 = 495 kg/h

Presión máxima permitida = 40 Psi = 2.7 Bar

Presión diferencial = 40 Psi-5 Psi = 35 Psi = 2.4 Bar

Trampas del Pasteurizador de la Crema de Leche. (Tipo Flotador Termostático)

Factor de seguridad recomendado = 2

Caudal de condensado = $350.52 \text{ kg/h} * 2 = 701 \text{ kg/h}$

Presión máxima permitida = 100 Psi = 6.8 Bar

Presión diferencial = $100 \text{ Psi} - 15 \text{ Psi} = 85 \text{ Psi} = 5.8 \text{ Bar}$

Trampas del Intercambiador de Placas. (Tipo Flotador Termostático)

Factor de seguridad recomendado = 2

Caudal de condensado = $460.9 \text{ kg/h} * 2 = 921.8 \text{ kg/h}$

Presión máxima permitida = 80 Psi = 5.5 Bar

Presión diferencial = $80 \text{ Psi} - 15 \text{ Psi} = 65 \text{ Psi} = 4.5 \text{ Bar}$.

Se puede especificar el tipo de trampas que se instalará en los equipos (Pasteurizadores, Marmitas, Intercambiador de Placas) por medio de la tabla 24 (Apéndice O).

Como alternativa preferible se selecciona las trampas de vapor tipo flotador termostáticas, las cuales se muestran en el Apéndice R las tuberías de entrada y salida de la trampa sería por lo menos el diámetro de cada trampa, si las tuberías hasta y desde las trampas tienen más de 1.2 metros de largo, deben de ser de un tamaño mayor que las trampas.

Las trampas de vapor deben estar por debajo de cada equipo que consuma vapor o de la tubería que desee drenar para permitir al condensado fluir por gravedad.

Las trampas deben estar cerca de los equipos que se desea drenar, y deberán estar cerca del piso para facilitar su mantenimiento.

En la figura 8.8 se muestra un diagrama de la trampa de vapor.

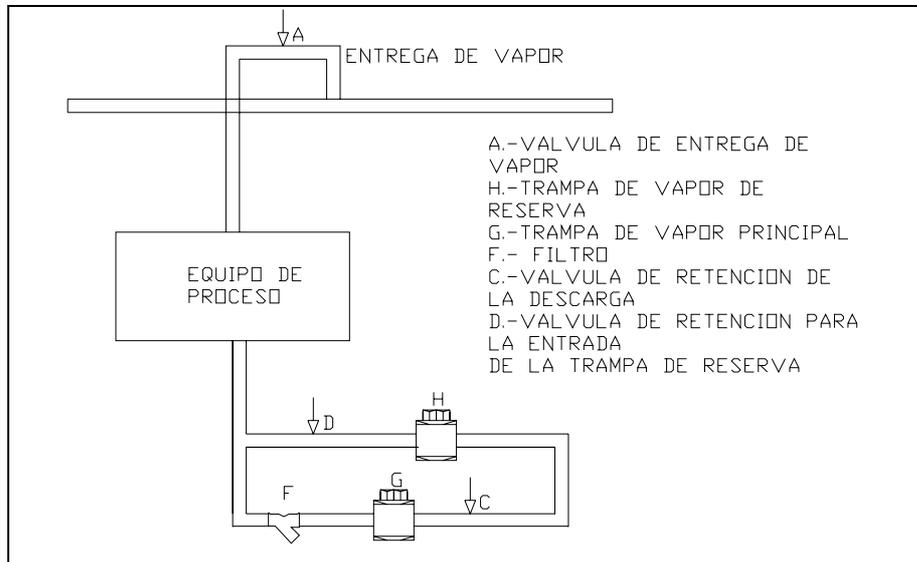


FIGURA 8.8: DIAGRAMA DE TRAMPAS DE VAPOR.

CAPÍTULO 9

9. TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.

El agua es el fluido de trabajo de los sistemas de vapor y una de las sustancias naturales más abundantes; sin embargo, nunca se encuentra en estado puro adecuado para la alimentación directa de una caldera.

Por lo común en estado natural, el agua se encuentra turbia, con materias sólidas en suspensión fina. Incluso cuando está clara, el agua natural contiene soluciones de sales y ácidos que dañan con rapidez el acero y los metales a base de cobre de los sistemas de vapor.

Según los elementos que la acompañan, se pueden considerar las mismas en dos grandes grupos: "Elementos Disueltos" y "Elementos en Suspensión", esto lo constituyen los minerales finamente divididos, como las arcillas y los restos de organismos vegetales o animales; y la cantidad de sustancias suspendidas, que son mayor en aguas turbulentas que en aguas quietas y de poco movimiento.

El ablandamiento es un tratamiento externo del agua que será utilizada en las calderas, debido a que las calderas son equipos de generación de vapor muy costoso, es por eso que hay que preservarlas y darle el mantenimiento adecuado para que funcionen con eficiencia y tengan una larga vida.

El ablandamiento tiene como objetivo evitar la presencia de impurezas provenientes de sales de calcio y magnesio, estas producen incrustaciones en las calderas. En algunos casos, los iones de hierro también causan dureza en el agua y pueden ser eliminados durante el proceso de ablandamiento. La mejor solución para ablandar el agua es usar una unidad de ablandamiento de aguas y conectarla directamente con el suministro de agua de entrada a la caldera.

9.1. Problemas Derivados en la Utilización del Agua en Calderas.

Los problemas más frecuentes en lo referente a la calidad del agua y que influyen en la operación de la caldera son:

- Formación de depósitos:
- Corrosión por Oxidación del metal:
- Fragilización cáustica:
- Formación de Espumas:

TABLA 26

IMPUREZAS MÁS COMUNES EN EL AGUA DE ALIMENTACION DE LAS CALDERAS

NOMBRE	FORMULA	EFEECTO QUE CAUSA
Carbonato de calcio.	CaCO ₃	Incrustación
Sulfato de calcio.	CaSO ₄	Incrustación
Cloruro de calcio.	CaCl ₂	Corrosión
Sulfato de sodio	Na ₂ SO ₄	Incrustación
Cloruro de sodio.	NaCl	Electrólisis
Dióxido de silicio.	SiO ₂	Incrustación
Sulfato de magnesio.	MgSO ₄	Incrustación y Corrosión
Cloruro de magnesio.	MgCl ₂	Corrosión

Nitrato de magnesio.	NO_3Mg	Corrosión
----------------------	------------------------	-----------

En la tabla 26 se muestran las principales impurezas químicas presentes en el agua de alimentación de las calderas y los efectos negativos que estos causan.

9.1.1. Formación de depósitos.

La incrustación es indeseable ya que al formar una capa en los tubos y demás componentes del equipo, evitan la transmisión efectiva del calor. Esto conduce a una baja eficiencia en la producción de vapor, disminuyendo la cantidad de vapor producido por unidad de calor generado, y también causa desgaste del tubo y accesorios por fatiga térmica ya que se requiere de mayor temperatura del metal en la parte expuesta a la flama, que cuando no existe incrustación y este desgaste térmico afecta también la vida útil del equipo.

Los depósitos se producen por sólidos suspendidos que el agua pueda contener y principalmente por formación de depósitos de

sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio, en mezclas complejas con otros componentes como sílice, bario, etc.

Para evitar la formación de incrustaciones se deben remover los sólidos coloidales y materia suspendida que el agua contenga y ablandamiento o suavización del agua cruda antes de integrarla a la caldera.

9.1.2. Corrosión por Oxidación del Metal.

Los principales componentes de la caldera son metálicos. Los agentes que atacan el fierro y lo disuelven son los gases corrosivos como oxígeno y bióxido de carbono. También la acidez del agua causa corrosión por lo que el pH debe mantenerse entre 9.0 y 11.5.

El control del oxígeno disuelto es uno de los puntos críticos en la operación de la caldera. Las picaduras o áreas de desgaste localizadas en ciertas partes de los tubos de la caldera ocurre por la acción corrosiva del oxígeno.

En el condensador del sistema, el bióxido de carbono se suma a la acción corrosiva del oxígeno y destruyen en poco tiempo el tanque del condensador si no son removidos estos gases.

9.1.3. Fragilización Cáustica.

Si la alcalinidad a la fenolftaleína que es la que se encuentra en forma de carbonatos es muy alta, pueden presentarse problemas de fragilización del metal. Esta pérdida de elasticidad, también puede ocurrir por frecuentes shocks térmicos en la caldera, al complementar sin calentamiento previo el agua de repuesto para compensar por las pérdidas por fugas de vapor o por purgas de la caldera.

9.1.4. Formación de Espumas.

Esto ocurre cuando hay presencia de materia orgánica o de una gran cantidad de sólidos disueltos en el agua de la caldera.

Para evitar la formación de espumas, se purga la caldera cuando en el agua se alcanza un cierto nivel preestablecido de sólidos disueltos. Otra acción preventiva consiste en tener un tratamiento externo del agua de alimentación para evitar la presencia de sólidos suspendidos de naturaleza orgánica, así como de grasas y aceites del equipo de proceso que puedan contaminar el agua.

Por todas estas consideraciones, se ve como método más económico y lógico de mantenimiento de calderas, efectuar sobre el agua de aporte a las mismas los procedimientos preventivos que la misma requiera, evitando así costos de mantenimiento innecesarios y paradas imprevistas en plena etapa de producción con los costos de lucro cesantes que agravan la misma.

9.2. Cálculos y Selección del Ablandador de Agua.

Para seleccionar un ablandador, se debe de tener conocimientos acerca de los parámetros fundamentales que son:

- Horas de operación por día del ablandador.
- Porcentaje de agua de reposición.

- Dureza del agua de alimentación expresada en ppm de CaCO₃.

Para las dos calderas de 60 C.C (939 Kg/h), el ablandador trabajará 8 horas por día, el agua de alimentación será tomada de la red de distribución de la ciudad de Guayaquil, esta tiene una dureza de 90 ppm de CaCO₃. Considerando un retorno de condensado del 20% esto se hace con la finalidad de disponer de un ablandador de agua en la planta.

Los cálculos se detallan a continuación:

Agua de reposición = (2) (60 C.C) (0.80)

Agua de reposición = 96 C.C

Sabiendo que 1 ppm = 0.058 granos por galón (GPG), y conociendo que se requiere 0.069 GPM de agua por cada C.C.

$$\text{CRRD} = \left(96 \text{ C.C} \times \frac{0.069 \text{ GPM}}{1 \text{ C.C}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times (90 \text{ ppm}) \times \frac{0.058 \text{ GPG}}{1 \text{ ppm}} \times 16 \text{ h} \right)$$

$$\text{CRRD} = 33194.18 \text{ granos}$$

Por lo tanto la capacidad del ablandador está dada por la cantidad de dureza a eliminar.

En la figura 9.1 se muestra el tipo de ablandador a utilizarse.



FIGURA 9.1: ABLANDADOR DE AGUA.

En el Apéndice Q se muestran las especificaciones y datos de operación del ablandador que fue seleccionado, el cual es el ablandador automático Culligan modelo: HI-FLO 22 WS-90.

En la tabla 27, se muestran las características del ablandador que se empleará para el tratamiento del agua de alimentación.

TABLA 27
CARACTERÍSTICAS DEL ABLANDADOR CULLIGAN HI-FLO 22 WS-90

ABLANDADOR AUTOMATICO CULLIGAN MODELO: HI-FLO 22 WS-90	
Caudal Mínimo	3 GPM
Caudal Nominal	25 GPM
Caudal Continuo	29 GPM
Caudal Máximo	38 GPM
Caudal de Retrolavado	6 GPM
Presión Mínima Requerida	38 PSI
Presión Máxima	100 PSI
Temperatura de Operación Máxima	48°C

9.3. Control del Tratamiento del Agua de la Caldera.

El control se lo realiza a través de análisis químicos, estos resultados se comparan con los valores máximos permisibles dados por los fabricantes de calderas.

Para que una caldera pueda operar eficientemente es indispensable chequear la calidad de su agua cada 24 horas, esto se lo realiza mediante extracciones o purgas en los siguientes sistemas:

- Caldera y línea de retorno de condensado.
- Sistema de agua de alimentación.

Las pruebas realizadas en el agua de los generadores de vapor son: Dureza, alcalinidad, fosfatos residuales, sílice, turbidez.

En la tabla 28 se muestran los valores recomendados del agua que se emplea en las calderas. De acuerdo a las pruebas realizadas en el tratamiento del agua.

TABLA 28

LIMITES RECOMENDADOS PARA LOS CONSTITUYENTES DEL AGUA QUE SE USAN EN CALDERAS

	PARTES POR MILLON (PPM)						
Presión lb/in2	Total de sólidos disueltos	Alcalinidad	Dureza	Sílice	Turbidez	Aceite	Fosfatos residuales
0-300	3500	700	0	100- 60	175	7	140
301-450	3000	600	0	60-45	150	7	120
451-600	2500	500	0	45-35	125	7	100
601-750	2000	400	0	35-25	100	7	80
751-900	1500	300	0	25-15	75	7	

CAPÍTULO 10

10. ANÁLISIS DE COSTOS.

En esta sección se presentan los costos para la adquisición de las maquinarias, equipos y accesorios que pertenecen al sistema de vapor en la elaboración de Yogurt y Crema de Leche. Estos valores están expresados en dólares, y han sido cotizados en la ciudad de Guayaquil los meses de Septiembre y Octubre del 2009, gracias a la colaboración de empresas proveedoras relacionadas a los productos requeridos para la realización de este proyecto.

En la tabla 29 se detallan los valores cotizados para las maquinarias, equipos y accesorios, expresadas en dólares.

TABLA 29
COSTOS DE MAQUINARIAS, EQUIPOS Y ACCESORIOS (US\$)

EQUIPOS PRINCIPALES Y ACCESORIOS DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN Y DE COMBUSTIBLE				
A	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Tanque de agua de alimentación 166 gal.	2	2270.00	4540.00
2	Bomba agua de alimentación 3 HP	2	1361.20	2722.4
3	Ablandador de agua Culligan WS-90	1	3264.41	3264.41
4	Codos de acero de 90° de 1 ½"	10	2.41	24.10
5	Válvulas de paso de 1 ½" Bronce, conexión roscada NPT	6	64.06	384.36
6	Válvula de retención 1 ½" Acero forjado, conexión roscada NPT	1	207.23	207.23
7	Codo de acero en T de 1 ½"	1	6.24	6.24
8	Tubería de acero 1 ½"	31	5.04	156.24
9	Te de acero de 1 ½"	1	6.24	6.24
10	Tanque de combustible para uso diario de 435 gal	2	3650.00	7300.00
11	Tanque de combustible de reserva 21840 gal	1	14200.00	14200.00
12	Bomba de combustible 1/4 HP	2	225.00	450.00
13	Codos de acero de 90° de 3/4"	10	1.22	12.20
14	Válvula de compuerta, de acero de 3/4" (150 psi), conexión roscada NPT	4	57.89	231.56

15	Tubería de acero de 3/4"	10 m	2.51	251
16	Caldera Cleaver Brooks de 60 C.C , de 4 pasos (Piro-tubular)	2	54763.58	109527.17
17	Tanque de retorno de condensado	1	2257.15	2257.15
SUB-TOTAL A				145540.30
ACCESORIOS DEL SISTEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE VAPOR				
B	DESCRIPCION	CANTI DAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Tubería para vapor de acero cédula 40, 1 ½"	10 m	5.04	50.40
2	Tubería para vapor de acero cédula 40, 2"	10m	6.76	67.60
3	Tubería para vapor de acero cédula 40 1 ¼"	20m	4.40	88.00
4	Tubería para vapor de acero cédula 40, 3/4"	67m	2.51	168.17
5	Tubería para vapor de acero cédula 40 1"	30m	3.34	100.2
6	Válvula de control de vapor 1 ½" (150 psi) conexión rosca NPT Hierro fundido.	1	1638.72	1638.72
7	Válvula de control de vapor 2" (150 psi) conexión rosca NPT Hierro fundido.	1	1737.26	1737.26
8	Válvula de compuerta de 1" Pasteurizador (150 psi) Bronce.	4	72.00	288.00
9	Válvula de compuerta de 1 ½" Pasteurizador (150 psi) Bronce,	2	80.00	160.00

	conexión roscada NPT			
10	Válvula de compuerta de 1 ¼" Intercambiador (150 psi) Bronce, conexión roscada NPT	4	75.00	300.00
11	Válvula de compuerta de ¾" Marmitas (150 psi) Bronce, conexión roscada npt	10	55.20	552.00
12	Válvula reguladora de temperatura 25T de 1''	2	1390	2780.00
13	Válvula reguladora de temperatura 25T de 1 1/2''	1	1710	1710.00
14	Válvula reguladora de presión de 1 1/4"	2	656.80	1313.60
15	Válvula reguladora de presión de ¾"	5	410.18	2050.90
16	Filtro Y, de 1" hierro fundido, conexión roscada NPT	2	28.60	57.20
17	Filtro Y, de 1 ½" hierro fundido, conexión roscada NPT	1	51.55	51.55
18	Filtro Y, de 1 ¼" Hierro fundido, conexión roscada NPT	2	38.69	77.38
19	Filtro Y, de ¾", Hierro fundido, conexión roscada NPT	5	20.13	100.65
20	Aislante térmico Fiberglass cañuela de 1 ½"	10m	6.18	61.80
21	Aislante térmico Fiberglass cañuela de 2"	10m	7.19	71.90
22	Aislante térmico Fiberglass cañuela de 1 ¼"	20m	5.75	115.00
23	Aislante térmico Fiberglass cañuela	67m	4.53	303.51

	de 3/4"			
24	Aislante térmico Fiberglass cañuela de 1"	30m	5.17	155.10
SUB-TOTAL B				13998.94
ACCESORIOS DEL SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADO				
C	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Tubería para condensado, de acero cedula 40, 2"	40	6.76	270.4
2	Tubería para condensado, de acero cedula 40, de 1"	5	2.51	12.55
3	Tubería para condensado, de acero cedula 40, de 3/4"	15	2.37	35.55
4	Tubería para condensado, de acero cedula 40, de 1 ¼"	2	3.34	6.68
5	Trampa flotador termostática de 1" hierro fundido, conexión roscada NPT	4	168.83	675.32
6	Trampa flotador termostática de 3/4" hierro fundido, conexión roscada NPT	14	136.67	1913.38
7	Trampa flotador termostática de 1 ¼" hierro fundido, conexión roscada NPT	2	248.48	496.96
8	Filtro IT de 1"	4	20.13	80.52
9	Filtro IT de 3/4"	14	15.48	216.72
10	Filtro IT de 1 1/4"	2	28.60	57.20
11	Válvula de compuerta de 1"	6	55.20	331.20
12	Válvula de compuerta de 3/4"	21	44.20	928.20
13	Válvula de compuerta de 1 ¼"	3	72.00	216
14	Codos de acero de 1"	6	1.22	7.32

15	Codos de acero de 3/4"	21	1.15	24.15
16	Codos de acero de 1 1/4"	4	1.50	6.00
17	Codos de acero de 2"	2	3.48	6.96
18	Te de acero de 2''	1	8.89	8.89
19	Te de acero de 1"	6	2.85	17.10
20	Te de acero de 3/4"	20	2.85	57.00
21	Te de acero de 1 1/4"	2	3.19	6.38
22	Reducción de acero de 2'' x 1"	4	1.28	5.12
23	Reducción de acero de 2'' x 3/4"	6	1.28	7.68
24	Reducción de acero de 2'' x 1 1/4"	4	4.80	19.20
25	Aislante térmico Fiberglass, cañuela 3/4"	5	4.53	22.65
26	Aislante térmico Fiberglass, cañuela 1/2"	15	4.20	63.00
27	Aislante térmico Fiberglass, cañuela 1"	2	5.17	10.34
28	Aislante térmico Fiberglass cañuela de 2"	40	7.19	287.6
SUB-TOTAL C				5790.07
TOTAL A+B+C				165329.31
+ IVA				19839.51
TOTAL				185168.82

Para este proyecto se seleccionaron dos Calderas de marca Cleaver Brooks de 60 C.C el cual tiene un costo de 54763.58 cada una, es decir, el costo total es de **\$ 109527.17**

Para el sistema de agua de alimentación el costo total es de **\$ 14063.13**

En el sistema de distribución de vapor, se tiene un costo de **\$ 13291.63**

Para el sistema de retorno de condensado el costo es de **\$ 2320.82**

Las trampas de vapor que se seleccionaron tienen un costo de **\$ 3085.66**

El costo total del aislamiento de tuberías de vapor y de retorno de condensado es de **\$ 1090.90**

El costo de la Instalación de toda la línea de vapor para la elaboración del Yogurt y de Crema de Leche es de **\$ 185168.82**, la cotización se la adquirió gracias al aporte de empresas proveedoras de equipos, maquinarias y accesorios de la línea de vapor.

CAPÍTULO 11

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a las proyecciones futuras de la demanda de Yogurt y Crema de Leche en el Ecuador, es apropiado instalar una planta mediana con una capacidad de procesamiento de 80.000 litros de Yogurt y 6.000 kg de Crema de Leche.

Una vez calculado el sistema de vapor para la planta de Yogurt y Crema de Leche, se puede concluir que las calderas que fueron seleccionadas y sus equipos anexos cubrirán las necesidades de vapor de la planta.

De acuerdo a los cálculos de los equipos que requieren vapor, (Pasteurizadores, Intercambiador de Placas y Marmitas) la demanda de vapor es de 83.44 C.C, por lo cual se decidió adquirir dos Calderas de 60 C.C por factores de mantenimiento en la planta ó fallas de algunos de los equipos.

La caldera más adecuada resultó ser del tipo Pirotubular, marca Cleaver Brooks, horizontal de cuatro pasos, a diesel con una presión de operación de 150 psi, con una eficiencia de 85%.

En cuanto a los sistemas y equipos de la instalación de vapor, se puede concluir que:

- El combustible más adecuado para las calderas es el diesel oíl, que va a estar almacenado en tres tanques de combustible, dos son para el uso diario y uno para reserva de veinte y cinco días laborables en la planta.

- La potencia requerida de la bomba de combustible es de 1/4 HP, de engranajes, con una capacidad de 18.2 GPH, la cual alimentará un quemador de combustible con atomización por aire.
- La caldera tendrá una chimenea de 3 metros de altura con un diámetro de 22 centímetros, la cual es adecuada para la evacuación de gases de escape.
- La caldera requiere una demanda de 8.4 GPM de agua la misma que será almacenada en un tanque cilíndrico de acero inoxidable con una capacidad de 236 galones. Esta requiere una bomba tipo turbina de 3 HP la cual funcionará de forma intermitente.
- Las tuberías a usar tanto para vapor como en el retorno de condensado son las de acero de cédula 40.
- Para las tuberías de vapor y retorno de condensado, el material aislante más adecuado es la lana de vidrio rígida, ya que esta depende de los diámetros y espesores dependiendo de la tubería.
- Las trampas de vapor deberán ser ubicadas por debajo de los equipos para así poder drenar por gravedad. La selección de estas trampas se ha hecho de acuerdo a los Pasteurizadores, Marmitas, e Intercambiadores de Placas, del proceso de elaboración del Yogurt y

Crema de Leche, por ser los más adecuados para estos equipos. Se han seleccionado las Trampas Tipo Flotador Termostático.

RECOMENDACIONES

Del punto de vista operativo para este sistema de vapor se recomienda lo siguiente:

- Que el tanque de agua de alimentación nunca deberá estar lleno, este deberá estar a un 70% de su capacidad.
- Que el agua de alimentación debe estar a una temperatura lo más alta posible con la finalidad de evitar problemas de dilatación, contracciones y choques térmicos en la caldera.
- Que para evitar problemas de corrosión, incrustaciones, espumeo y arrastre, el agua de alimentación deberá ser analizada periódicamente y tratada con un ablandador para disminuir su dureza.
- El tanque de combustible de uso diario y su bomba deberá instalarse lo más cerca posible a la caldera.
- Para controlar la eficiencia de la caldera, es aconsejable realizar un análisis a los gases de escape cada seis meses.

- Que las Trampas de Vapor tengan un filtro antes de las mismas, para evitar que impurezas obstruyan su funcionamiento, y que estos filtros sean limpiados periódicamente.

APÉNDICE A
FACTORES DE EVAPORACIÓN

TEMP °C	PRESION (Psi)														
	5	10	20	50	70	90	100	110	130	150	170	190	200	225	250
0	1.19	1.19	1.2	1.214	1.219	1.223	1.225	1.226	1.229	1.231	1.233	1.235	1.236	1.237	1.239
4.4	1.18	1.18	1.19	1.206	1.211	1.215	1.217	1.218	1.221	1.223	1.225	1.227	1.227	1.229	1.231
10	1.17	1.17	1.18	1.196	1.201	1.205	1.206	1.208	1.211	1.213	1.215	1.216	1.217	1.219	1.22
15.6	1.16	1.16	1.17	1.185	1.19	1.194	1.196	1.198	1.2	1.202	1.204	1.206	1.207	1.209	1.21
21.1	1.15	1.15	1.16	1.175	1.18	1.184	1.186	1.187	1.19	1.192	1.194	1.196	1.196	1.198	1.2
26.7	1.14	1.14	1.15	1.162	1.17	1.174	1.176	1.177	1.18	1.182	1.184	1.185	1.186	1.188	1.189
32.2	1.13	1.13	1.14	1.154	1.16	1.164	1.165	1.167	1.17	1.172	1.173	1.175	1.176	1.178	1.179
37.8	1.12	1.12	1.13	1.144	1.149	1.153	1.155	1.156	1.159	1.161	1.163	1.165	1.166	1.167	1.169
43	1.11	1.11	1.12	1.134	1.139	1.143	1.145	1.146	1.149	1.151	1.153	1.155	1.155	1.157	1.159
49	1.1	1.1	1.11	1.124	1.129	1.133	1.134	1.136	1.139	1.141	1.143	1.144	1.145	1.147	1.148
54	1.09	1.09	1.1	1.113	1.118	1.123	1.124	1.126	1.128	1.13	1.132	1.134	1.135	1.137	1.138
60	1.08	1.08	1.09	1.103	1.108	1.112	1.114	1.115	1.118	1.12	1.122	1.124	1.125	1.126	1.128
66	1.07	1.08	1.08	1.093	1.098	1.102	1.104	1.105	1.108	1.11	1.112	1.114	1.114	1.116	1.118
71	1.06	1.07	1.07	1.082	1.088	1.092	1.093	1.095	1.097	1.1	1.102	1.103	1.104	1.106	1.107
77	1.05	1.05	1.06	1.072	1.077	1.081	1.083	1.084	1.087	1.089	1.091	1.093	1.094	1.095	1.097
82	1.04	1.04	1.05	1.062	1.067	1.071	1.073	1.074	1.077	1.079	1.081	1.083	1.083	1.085	1.087
88	1.03	1.03	1.04	1.052	1.057	1.061	1.062	1.064	1.066	1.069	1.071	1.072	1.073	1.075	1.076
93	1.02	1.02	1.03	1.041	1.047	1.05	1.052	1.053	1.056	1.058	1.06	1.062	1.063	1.064	1.066
99	1.01	1.01	1.02	1.031	1.036	1.04	1.042	1.043	1.046	1.048	1.05	1.052	1.052	1.054	1.056

APÉNDICE B

CARACTERÍSTICAS DE LAS CALDERAS CLEAVER BROOKS

Dimensiones Generales y Capacidades

			60	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700
Capacidad en caballos caldera															
	Capacidad Nominal kg / h vapor a 100°C		939	1252	1565	1956	2347	3130	3912	4695	5477	6260	7825	9390	10955
	Calorías de Salida kcal / h x 10 ⁶		0.507	0.676	0.845	1.05	1.26	1.69	2.11	2.53	2.95	3.38	4.22	5.07	5.91
	Superficie de calefacción m ²		27.9	37.2	46.5	58.12	69.7	93	116.2	139.5	162.7	186	232.5	279	325.5
Eficiencia Total (Relación Combustible-Vapor a Plena Carga con Presión de Operación de 8.8 kg / cm² (125 lb / pulg²))															
	Diesel Poder Calorífico 9220 kcal / lt		82.0%	82.5%	83.0%	82.0%	83.0%	83.5%	82.0%	82.5%	83.5%	83.0%	84.0%	84.5%	84.5%
	Combustión Poder Calorífico 10100 kcal / lt		82.5%	79.5%	83.5%	82.5%	83.5%	84.0%	82.5%	83.0%	84.0%	83.5%	84.5%	85.0%	85.0%
	Gas Natural Poder Calorífico 8900 kcal / m ³		78.5%	79.5%	80.0%	78.5%	79.5%	80.5%	79.0%	79.5%	80.0%	79.5%	80.5%	81.0%	81.0%
Consumo de Combustible															
	Diesel lt / h		67	89	110	140	166	220	279	333	384	442	546	651	759
	Combustoleo lt / h		61	84	100	127	150	199	254	302	349	401	495	591	689
	Gas Natural m ³ / h		72	96	119	151	179	236	300	358	415	478	590	703	821
	Longitud Total (m m)	A	3540	4531	5013	4505	5115	5902	5166	5851	6613	5423	6287	7201	8039
	Longitud Cuerpo Entre Bidas	B	2346	3337	3819	3185	3794	4582	3677	4353	5115	3873	4737	5652	6490
	Longitud Base de la Caldera	C	2305	3778	3778	3150	3759	4547	3632	4318	5080	3835	4699	5613	6452
	Extensión Tapa Frontal	D	686	686	686	813	813	813	864	864	864	813	813	813	813
	Extensión Tapa Trasera	E	508	508	508	508	508	508	635	635	635	737	737	737	737
	Ancho Total	F	1771	1772	1772	1921	1921	1921	2451	2451	2451	2972	2972	2972	2972
	Diámetro Interno del Cuerpo	G	1219	1219	1219	1524	1524	1524	1981	1981	1981	2438	2438	2438	2438
	Centro a Exterior Columna de Nivel	H	1098	1098	1098	1092	1092	1092	1397	1397	1397	1676	1676	1676	1676
	Centro a Exterior Cubierta	I	673	673	673	829	829	829	1054	1054	1054	1295	1295	1295	1295
	Exterior Bases de la Caldera	J	933	933	933	1308	1308	1308	1645	1645	1645	1823	1823	1823	1823
	Altura Base Caldera a Brida Chimenea	K	1864	1864	1864	2210	2210	2210	2664	2664	2664	3258	3258	3258	3258
	Altura Base Caldera a Salida de Vapor	L	1699	1699	1653	1957	1957	1957	2400	2400	2400	3004	3004	3004	3004
	Altura Total del Piso a Brida Chimenea	M	2016	2016	2016	2362	2362	2362	2816	2816	2816	3410	3410	3410	3410
	Altura de la Base	N	305	305	305	305	305	305	254	254	254	457	457	457	457
Diámetro de Conexiones															
	Salida de Vapor (m.m.)	1	76	76	102	102	102	102	152	152	152	152	203	203	203
	Alimentación de Agua	2	32	32	32	38	38	38	51	51	51	64	64	64	64
	Ducto Salida de Gases (Diámetro)	3	254	305	305	406	406	406	508	508	508	610	610	610	610
	Purga de Fondo Frontal y Posterior	4	32	32	32	38	38	38	38	38	38	51	51	51	51
	Indicador de Temperatura-Caldera	5	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Purga Continua	6	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Longitud Mínima para Mantenimiento Espacio si los Tubos se Sacan por															
	El frente (m m)	FF	2150	3150	3650	2950	3550	4350	3350	4050	4800	3460	4320	5250	6100
	Espacio si los tubos se sacan por Atras	EE	2150	3150	3650	2950	3550	4350	3350	4050	4800	3460	4320	5250	6100
	Espacio Atras si los Tubos se Sacan por el frente	GG	1397	1397	1397	1397	1397	1397	1600	1600	1600	1854	1854	1854	1854
	Espacio al frente si los tubos se Sacan por Atras	DD	1397	1397	1397	1702	1702	1702	2261	2261	2261	2743	2743	2743	2743
Longitud Mínima del Cuarto de Calderas para abrir puertas y Cambiar Fluses:															
	Por la parte Frontal de la Caldera (m.m.)	RF	5852	7843	8825	7497	8706	10294	8582	9968	11480	9149	10873	12717	14406
	A Traves de Puerta o Ventana	RD	5099	6090	6572	6249	6858	7646	7493	8179	8941	8432	9296	10210	11049
	Por la Parte Trasera de la Caldera	RR	5852	7843	8825	7802	9011	10599	9243	10629	12141	10038	11762	13606	15295
Peso de la Caldera (Considérese la Máquina sin Vibraciones)															
	Vacia	kg	2971	3719	4218	5624	6123	7212	10297	11521	12700	16329	18597	21001	24176
	Ahogada	kg	4559	6101	6921	9103	10339	12260	16592	19610	21813	25687	30357	35294	40778
	Nivel Normal	kg	4296	5742	6524	8516	9620	11371	15136	17418	19715	23287	27352	31627	36782
Requerimientos Eléctricos															
	Motor Bomba de Combustible Diesel	hp	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1
	Motor Bomba de Combustible Pesado	hp	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
	Calentador Eléctrico	KW	5	5	5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	Compresor de Aire (espesor, cuerpo, plg)		2	2	2	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	5	5	5	5
Motor del Ventilador (a Nivel del Mar)															
	Utilizando Gas	hp	5	5	7.5	5	7.5	10	10	10	15	10	15	20	30
	Utilizando Aceite	hp	5	5	7.5	7.5	7.5	15	10	10	20	10	15	20	30

FICHA TÉCNICA

60 CC

DATOS GENERALES

CAPACIDAD DE EVAPORACIÓN:	939	Kg/h	2,070	Lb/h
ENERGÍA DE SALIDA	2120	MJ/hr	2,009	(1000) BTU/hr
SUPERFICIE DE CALEFACCIÓN:	27.87	m ²	300	pies ²
PRESIÓN DE DISEÑO	10.5	Kg/cm ²	150	PSI

PESO DE LA CALDERA

PRESIÓN DE DISEÑO (PSI)	150		200	
	Kg	Lb.	Kg	Lb.
VACÍA	4,082	7,200	4,309	7,600
A CAPACIDAD NORMAL DE AGUA	6,105	10,120	6,332	10,520
INUNDADA	6,464	10,700	6,690	11,100

REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS

ALTURA SOBRE NIVEL DEL MAR (m)	0-914 ¹
MOTOR VENT. (COMBUSTIBLES LÍQ.) HP	2
MOTOR VENT. (GAS) HP	2
MOTOR COMPRESOR (COMBUSTIBLES LÍQ.) HP	2
MOTOR DE BOMBA (DIESEL) HP	1/3
MOTOR DE BOMBA (COMBUSTÓLEO) HP	1/3
PRECALENTADOR COMBUSTÓLEO KW	5

VAPOR²

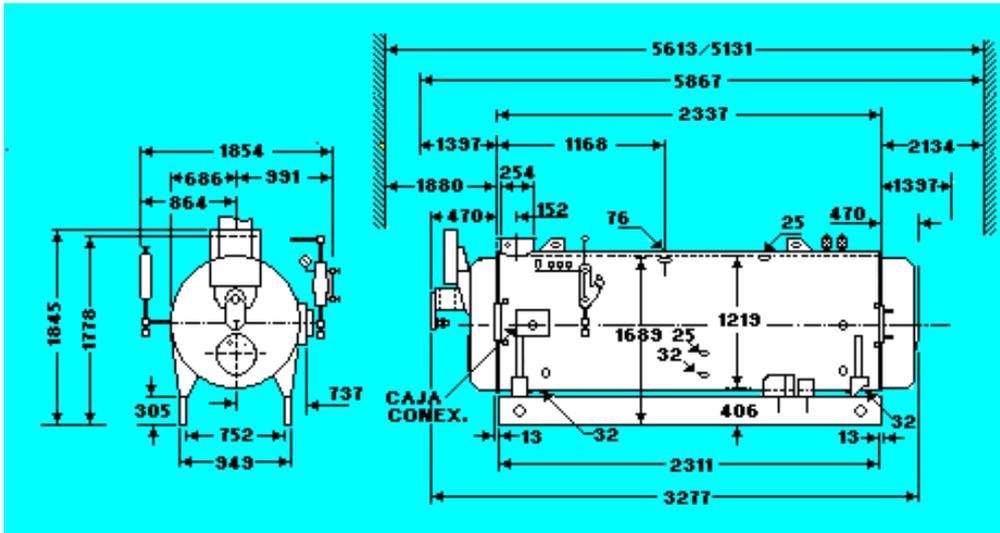
VOLUMEN DEL VAPOR	0.27	m ³
	9.7	pies ³
VÁLVULAS DE SEGURIDAD	CANTIDAD	1
	TAMAÑO DE SALIDA	(1)1 ¼

¹ Para mayores alturas consulte a su asesor de ventas

² Basadas a una presión de diseño de 150 PSI

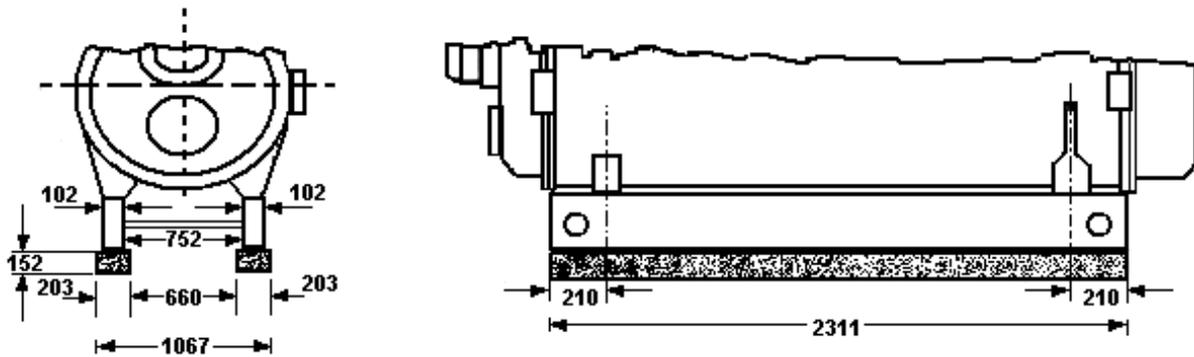
DIMENSIONES GENERALES

(Unidades en mm)



DIMENSIONES DE LAS BASES

(unidades en mm)



CONSUMO DE COMBUSTIBLES

Características del gas

GAS NATURAL	70.3	m ³ /hr	2,483	pies ³ /hr
DIESEL	65.7	lt/hr	17.4	gph
COMBUSTÓLEO	57.4	lt/hr	15.2	gph

Cantidad de gas usado aproximadamente:

Multiplique los ft³/h por 0.007 para obtener los pies³ usados en 25 segundos (tiempo de un encendido).

Características del gas

TIPO DE TREN	DIÁMETRO		PRESIONES			
	mm.	Pulg.		mbar	Pulg. CA	Oz/pulg ²
FM	64	2	PRESIÓN MÍNIMA	16.2	6.5	3.75
IRI	64	2	PRESIÓN MÍNIMA	16.2	6.5	3.75
PILOTO	13	½	PRESIÓN MÍNIMA	12.5	5	2.89
			PRESIÓN MÁX. PERMISIBLE	12.5	5	2.89

Factores de corrección para la mínima presión de gas

ALTITUD		FACTOR DE CORRECCIÓN	ALTITUD		FACTOR DE CORRECCIÓN
m	pies		m	pies	
309	1000	1.04	1524	6000	1.21
610	2000	1.07	2134	7000	1.3
914	3000	1.11	2438	8000	1.35
1219	5000	1.16	2743	9000	1.4

EFICIENCIAS

CARGA (%)	125 PSI			
	25	50	75	100
GAS NATURAL (%)	80.1	80.4	80.3	80.1
DIESEL (%)	83.5	83.8	83.7	83.5
COMBUSTOLEO (%)	83.8	84.1	83.9	83.8

*Temperaturas aproximadas predichas a 100 % de carga

NOTA: Para conocer las eficiencias de calderas con presiones de operación mayores a 125 PSI consulte a su asesor de ventas.

Poder calorífico superior

GAS NATURAL	8,890	Kcal/m³	1,010.6	Btu/pies³
DIESEL	9,220	Kcal/lit	138,590	Btu/gal
COMBUSTOLEO	10,520	Kcal/lit	158,131.7	Btu/gal

CONTAMINANTES

NIVEL ESTIMADO DE CONTAMINACIÓN				NIVELES DE SONIDO	
CONTAMINANTES	GAS NATURAL	DIESEL	COMBUSTÓLEO	MODULACIÓN	DbA
CO ppm ^A	200	90	95	FUEGO ALTO (GAS)	81
NO _x ppm ^A	100	185	502	FUEGO BAJO (GAS)	78
SO _x ppm ^A	1	278	278	FUEGO ALTO (DIESEL)	83
HC/ VOC _s ppm ^A	40	50	70	FUEGO BAJO (DIESEL)	81

NOTAS:

- Los niveles de emisiones están corregidos al 3% de O₂.
- Los niveles de sonido predichos son en función a los motores estándar y altitud al nivel de mar, para otros tipos.
- Los métodos de medición y comprobación de los niveles de sonido se manejan en relación a la ABMA y cumplen con la Norma ANSI S1.4 Tipo I.
- Los valores de los contaminantes son aproximados y pueden variara en función del contenido de nitrógeno, azufre, cenizas, etc.

DISEÑO MECÁNICO

	ESPESOR		DIÁMETRO		LONGITUD		TUBOS FLUX	
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	No. DE PASO	TUBOS
ENVOLVENTE	9.525	3/8	1,238	48.7	2051	80 ¾	2do.	26
HOGAR	12.7	½ (PLANO)	508	20	2092	82.3	3er.	19
ESPEJOS	15.88	5/8	1219.2	48	-	-	4to.	17
TUBOS FLUX	CAL. 13		63.5	2 ½	2120.9	83.5		
	TOTAL							62

APÉNDICE C

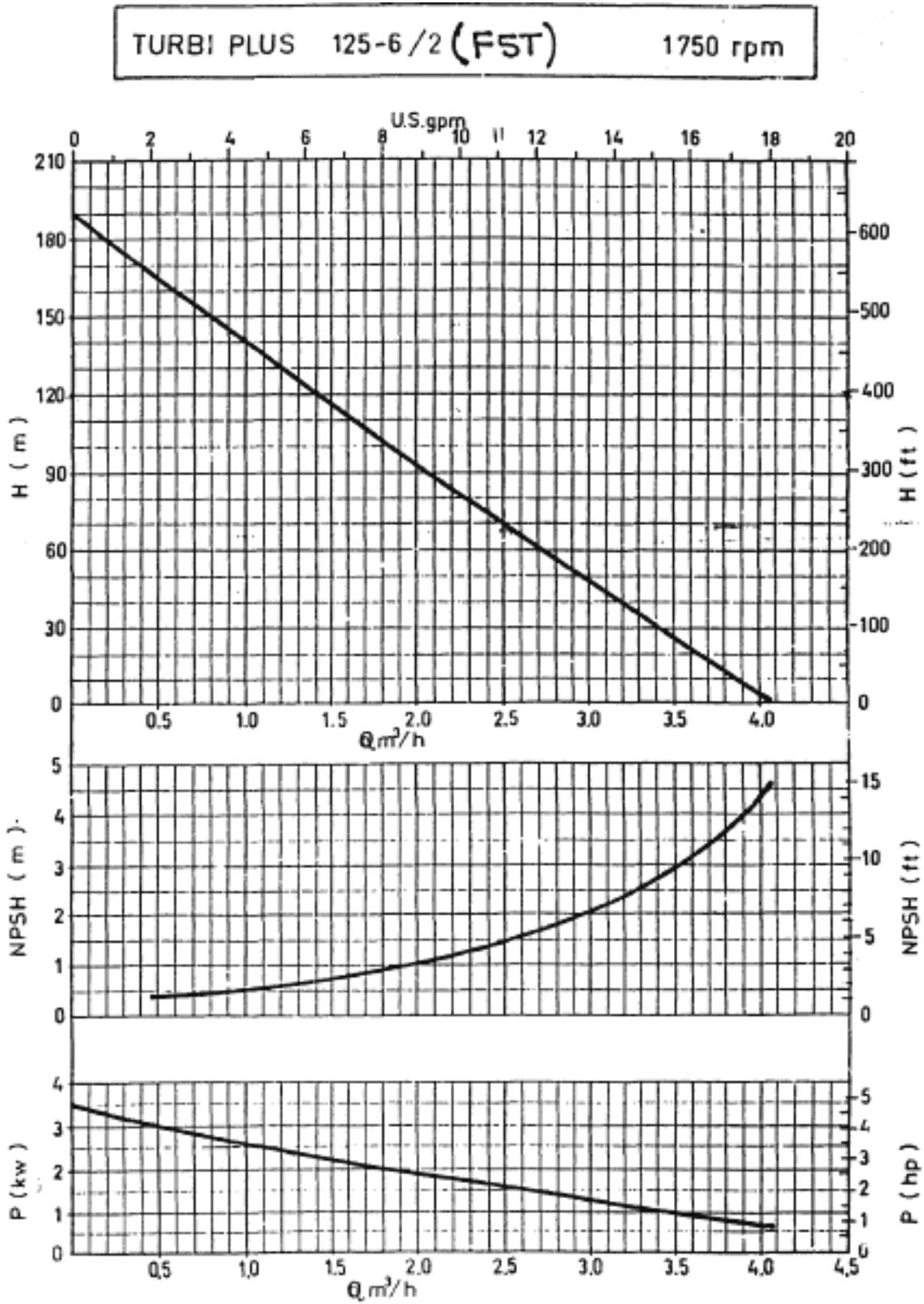
TABLA 11: DIMENSIONES PARA EL TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

Tanque tamaño (gal)	largo A	Ø B	C	D	E	baja presión/succión F	venteo G	alta presión/succión H	retorno I
50	3'-10"	1'-8"	1'-6"	1'-0"	8"	3"	¾"	2"	1"
90	3'-10"	2'-0"	1'-11"	1'-4"	8"	3"	¾"	2"	1"
150	4'-1"	2'-6"	2'-½"	1'-4"	8"	4"	1"	2"	1"
210	5'-0"	2'-8"	2'-6"	1'-6"	8"	4"	1 ½"	2"	1"
260	6'-3"	2'-8"	3'-1 ½"	2'-0"	8"	4"	1 ½"	2"	1 ¼"
315	5'-4"	3'-2"	2'-8"	2'-0"	8"	4"	1 ½"	2"	1 ¼"
400	5'-6"	3'-6"	2'-9"	2'-0"	8"	4"	2"	2"	1 ¼"
500	7'-0"	3'-6"	3'-6"	2'-0"	12"	4"	2"	2 ½"	2"
650	7'-0"	4'-0"	3'-6"	2'-0"	12"	4"	2 ½"	2 ½"	2"
750	8'-0"	4'-0"	4'-0"	2'-6"	12"	4"	2 ½"	3"	2"
1050	11'-3"	4'-0"	6'-½"	4'-0"	12"	4"	2 ½"	3"	2 ½"
1250	8'-6"	5'-0"	4'-3"	3'-0"	12"	4"	2 ½"	3"	2 ½"
1400	9'-6"	5'-0"	4'-9"	3'-0"	12"	4"	2 ½"	3"	2 ½"
1650	11'-2"	5'-0"	5'-7"	4'-0"	12"	6"	2 ½"	3"	3"

Fuente de información: Donlee - Technologies Inc.

APÉNDICE D

FIGURA 5.3: CURVAS HIDROSTÁTICAS (BOMBA TIPO TURBINA DE 1750 RPM, 5 HP)



APÉNDICE E

TABLA 13: PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS DE ACERO, CÉDULA 40, PARA AGUA.

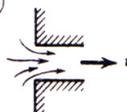
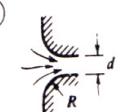
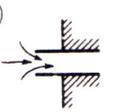
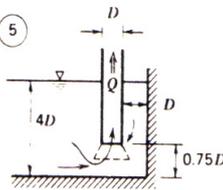
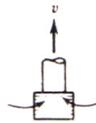
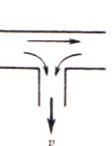
GPM	1 pulg		1 1/4 pulg		1 1/2 pulg		2 pulg		2 1/4 pulg	
	V (pies/seg)	hf								
4	1,48	1,29								
5	1,86	1,93								
6	2,23	2,68	1,29	0,7						
7	2,6	3,56	1,5	0,93						
8	2,97	4,54	1,72	1,18	1,26	0,56				
9	3,34	5,65	1,83	1,46	1,42	0,69				
10	3,71	6,86	2,15	1,77	1,58	0,83				
12	4,45	9,26	2,57	2,48	1,89	1,16				
14	5,2	12,8	3	3,28	2,21	1,53				
16	5,94	16,5	3,43	4,2	2,52	1,96				
18	6,68	20,6	3,86	5,22	2,84	2,42				
20	7,42	25,1	4,29	6,34	3,15	2,94				
25	9,29	37,4	5,37	9,66	3,94	4,5	2,39	1,29		
30	11,1	54,6	6,44	13,6	4,73	6,26	2,87	1,82		
35	13	73,3	7,52	18,5	5,52	8,38	3,35	2,42	2,35	1
40	14,8	95	8,58	23,5	6,3	10,8	3,82	3,1	2,68	1,28
45	16,7	119	9,66	29,5	7,1	13,5	4,3	3,85	3,02	1,6
50	18,6	146	10,7	36	7,88	16,4	4,78	4,67	3,35	1,94
60	22,3	209	12,9	51	9,46	23,2	5,74	6,59	4,02	2,72
70	26	283	15	68,8	11	31,3	6,69	8,86	4,69	3,63
80			17,2	89,2	12,6	40,5	7,65	11,4	5,36	4,66
90			19,3	112	14,2	51	8,6	14,2	6,03	5,82
100			21,5	138	15,8	62,2	9,56	17,4	6,7	7,11
120			25,7	197	18,8	88,3	11,5	24,7	8,04	10
140					22,1	119	13,4	33,2	9,38	13,5
160							15,3	43	10,7	17,4
180									12,1	21,9
200									13,4	26,7
220									14,7	32,2
240									16,1	38,1

Fuente de información: Tesis – Sistema de vapor para una planta de hormigón asfáltico, Villalobos F, ESPOL 1996

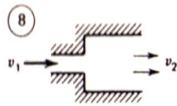
APÉNDICE F

TABLA 14: PÉRDIDAS LOCALES PARA ACCESORIOS.

Use la ecuación $h_v = kv^2/2g$, a menos que se indique lo contrario. La pérdida de energía E_L equivale a h_v , pérdida de carga en pies.

①		<p>Entrada cuadrada perpendicular</p> <p>$k = 0.50$ si el borde es afilado</p>												
②		<p>Entrada perpendicular redondeada</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$R/d =$</td> <td style="padding: 2px;">0.05</td> <td style="padding: 2px;">0.1</td> <td style="padding: 2px;">0.2</td> <td style="padding: 2px;">0.3</td> <td style="padding: 2px;">0.4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$k =$</td> <td style="padding: 2px;">0.25</td> <td style="padding: 2px;">0.17</td> <td style="padding: 2px;">0.08</td> <td style="padding: 2px;">0.05</td> <td style="padding: 2px;">0.04</td> </tr> </table>	$R/d =$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	$k =$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.04
$R/d =$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4									
$k =$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.04									
③		<p>Entrada perpendicular reentrante.</p> <p>$k = 0.8$</p>												
④		<p>Pérdida adicional debido a la entrada en ángulo</p> <p>$k = 0.505 + 0.303 \text{ sen } \alpha + 0.226 \text{ sen}^2 \alpha$</p>												
<p>Tubería de succión en el sumidero, con boquilla cónica</p>														
⑤		<p>$E_L = D + \frac{5.6Q}{\sqrt{2gD^{1.5}}} - \frac{v^2}{2g}$</p> <p>Sin boquilla</p> <p>$E_L = 0.53D + \frac{4Q}{\sqrt{2gD^{1.5}}} - \frac{v^2}{2g}$</p> <p>Ancho del sumidero mostrado $3.5D$</p> <p style="text-align: right;">(Según I. Vágás)</p>												
⑥		<p>Cesta de aspiración</p> <p>$k = 10$ con válvula de pie</p> <p>$k = 5.5$ sin válvula de pie</p> <p style="text-align: right;">(Según Agroskin)</p>												
⑦		<p>Te estándar, entrada a una línea menor</p> <p>$k = 1.8$</p>												

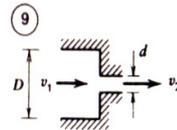
Fuente de información: Simon Andrew L, "Hidráulica Práctica"



Expansión súbita

$$E_L = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$$

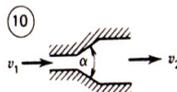
$$E_L = \left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$



Contracción súbita

$(d/D)^2 =$	0.01	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
$k =$	0.5	0.5	0.42	0.33	0.25	0.15

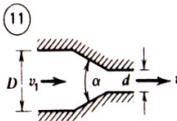
útese v_2 en la ecuación (4.15)



Difusor

$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

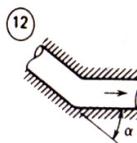
$\alpha^\circ =$	20	40	60	80
$k =$	0.20	0.28	0.32	0.35



Confractor

$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

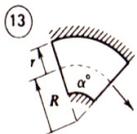
$\alpha^\circ =$	6	10	20	40	60	80	100	120	140
k para $D = 3d$	0.12	0.16	0.39	0.80	1.0	1.06	1.04	1.04	1.04
$D = 1.5d$	0.12	0.16	0.39	0.96	1.22	1.16	1.10	1.06	1.04



Codo cerrado

$$k = 67.6 \times 10^{-6} (\alpha^\circ)^{2.17}$$

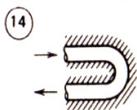
(Según Gibson)



Curvas

$$k = (0.13 + 1.85(r/R)^{3.5}) \sqrt{\alpha^\circ/180^\circ}$$

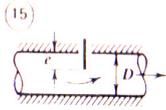
(Según Hinds)



Curva cerrada de retorno

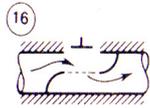
$$k = 2.2$$

Fuente de información: Simon Andrew L, "Hidráulica Práctica"



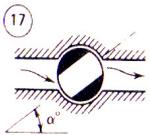
Válvula de compuerta

$e/D =$	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
$k =$	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	97.8



Válvula esférica

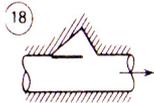
$k = 10$ cuando está totalmente abierta



Válvula rotatoria

$\alpha^\circ =$	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$k =$	0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	52.6	206	485	∞

(Según Agroskin)

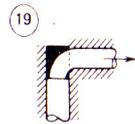


Válvulas de retención

Tipo bisagra $k = 2.5$ cuando está totalmente abierta

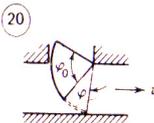
Tipo de bola $k = 70.0$

Tipo de cierre vertical $k = 12.0$



Válvula angular

$k = 5.0$ si está totalmente abierta

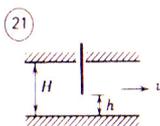


Compuerta radial en conducto rectangular

$$k = 0.3 + 1.3 \left[\left(\frac{1}{n} \right) \right]^2$$

donde $n = \varphi/\varphi_0 =$ la razón de apertura con respecto al ángulo central.

(Según Abelyev)



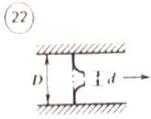
Esclusa en conducto rectangular

$$k = 0.3 + 1.9 \left[\left(\frac{1}{n} \right) - n \right]^2$$

donde $n = h/H$

Fuente de información: Simon Andrew L, "Hidráulica Práctica"

Tobera medidora



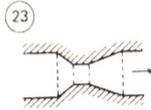
$$E_L = 0.3 \Delta p \quad \text{para} \quad d = 0.8D$$

$$E_L = 0.95 \Delta p \quad \text{para} \quad d = 0.2D$$

donde p es la medida de la caída de presión

(Según A.S.M.E.)

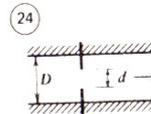
Venturímetro



$$E_L = 0.1 \Delta p \quad \text{hasta} \quad 0.2 \Delta p$$

donde Δp es la medida de la caída de presión

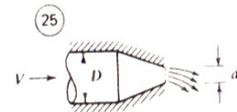
Orificio de medida, de bordes cuadrados



$$E_L = \Delta p \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)$$

donde Δp es la medida de la caída de presión

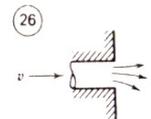
Salida del confusor



$d/D =$	0.5	0.6	0.8	0.9
$k =$	5.5	4	2.55	1.1

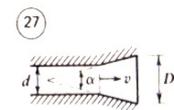
(Según Mostkov)

Salida de la tubería al depósito



$$k = 1.0$$

Salida del difusor, para $D/d > 2$:



$\alpha^\circ =$	8	15	30	45
$k =$	0.05	0.18	0.5	0.6

(Según Mostkov)

donde

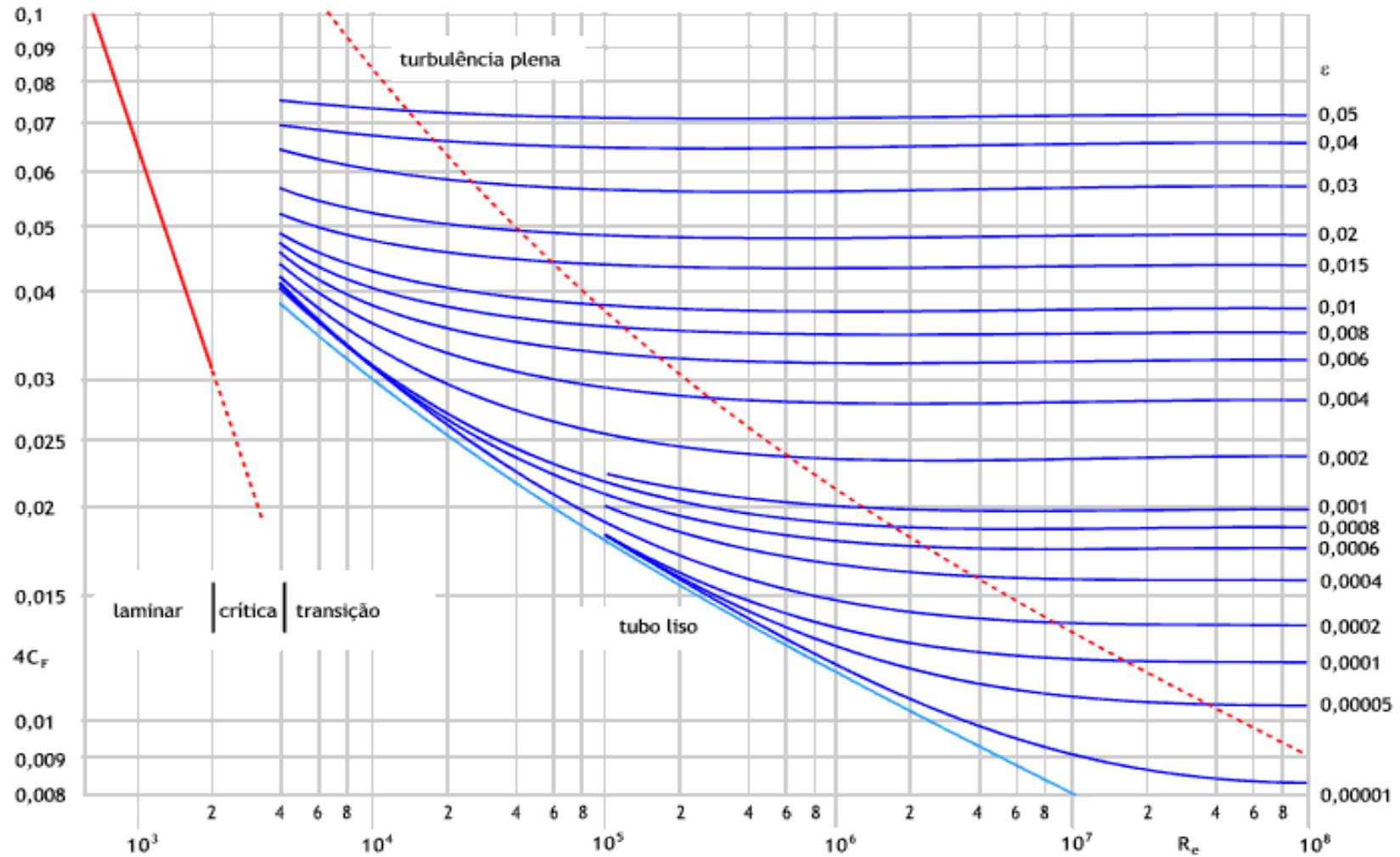
$$C_v = \pi D^2 \sqrt{\frac{g}{8k}} \quad (4.18)$$

y donde C representa la conducción de un accesorio hidráulico, que crea una pérdida local en un sistema de tuberías.

Fuente de información: Simon Andrew L, "Hidráulica Práctica"

APÉNDICE G

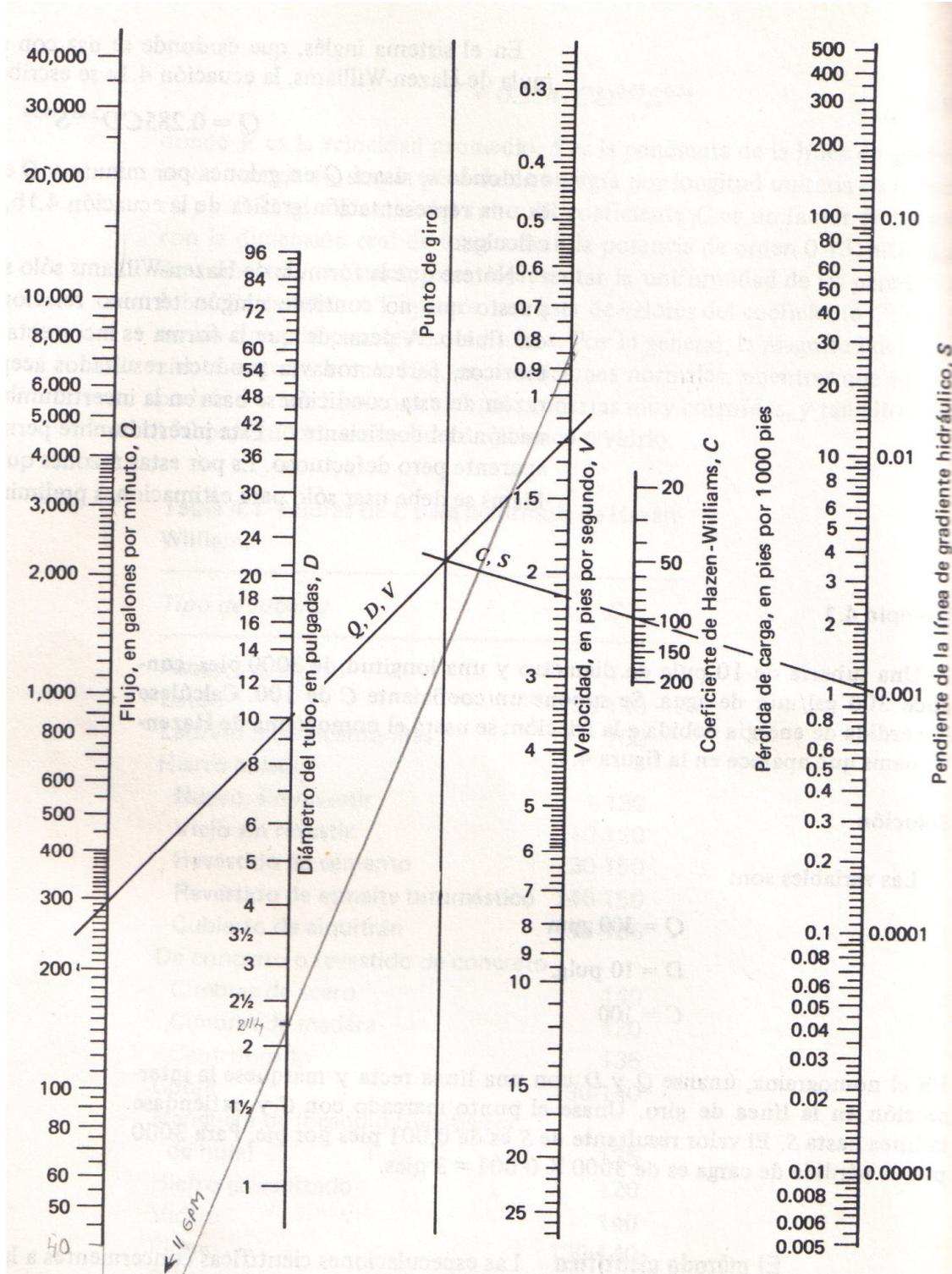
FIGURA 5.4: DIAGRAMA DE MOODY PARA DETERMINAR EL FACTOR DE FRICCIÓN “ f ” EN TUBERÍAS



Fuente de información: Introdução a la Mecânica de Fluidos Fox/McDonald

APÉNDICE H

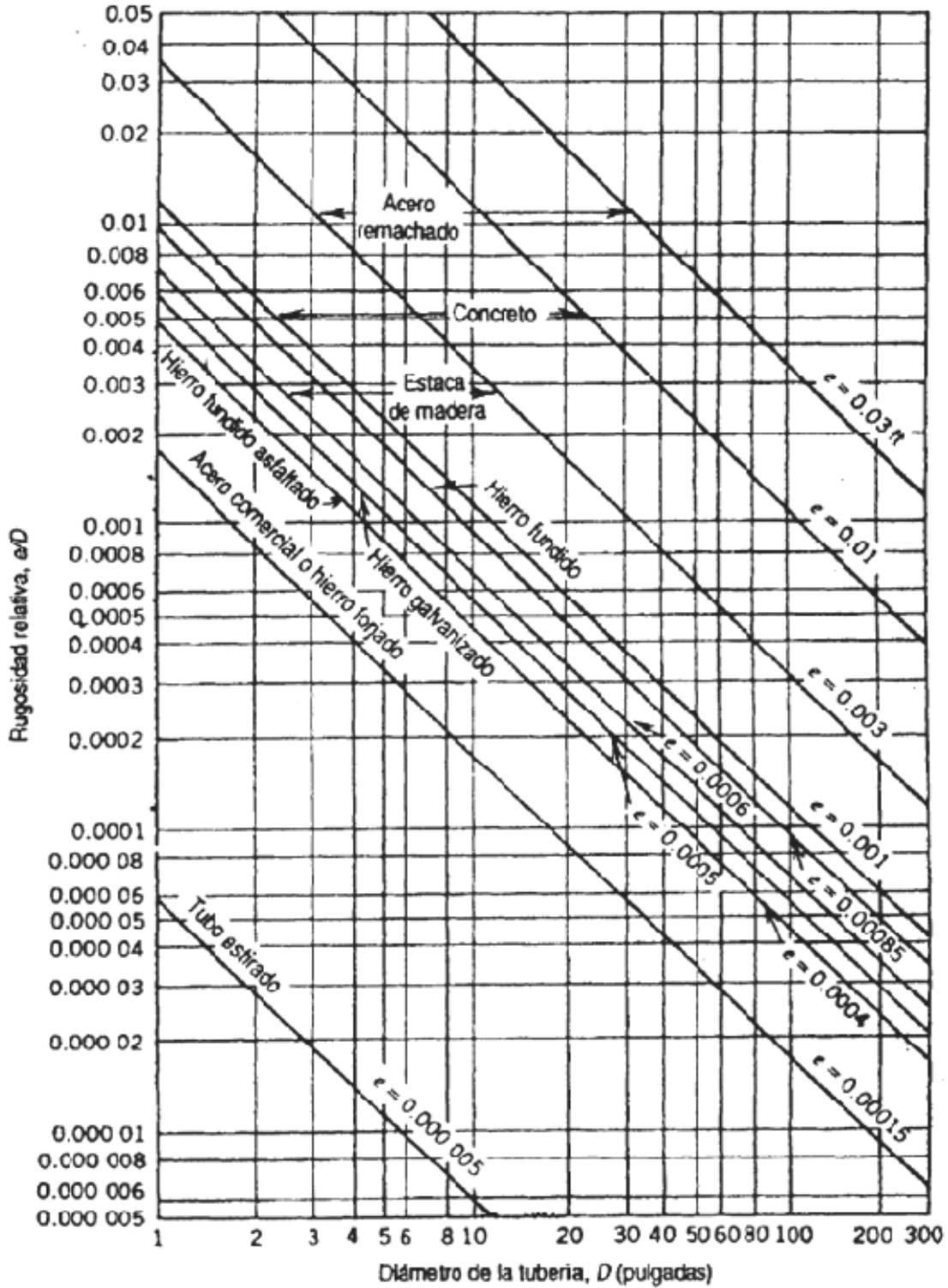
FIGURA 5.5: NOMOGRAMA DE HAZENWILLIAMS



Fuente de información: Simon Andrew L, "Hidráulica Práctica"

APÉNDICE I

FIGURA 5.6: RUGOSIDAD RELATIVA e/D PARA TUBERÍAS.



Fuente de información: Introducción a la Mecánica de Fluidos Fox/McDonald.

APÉNDICE J

TABLA 20: CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS PARA FLUIDOS.

TUBERIA PARA VAPOR TUBERIA SIN COSTURA Y ACCESORIOS CEDULA 40

Especificaciones Generales

Norma	ASTM A 53 GR B para conducción de fluidos
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6,00 m.
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta

Resistencia Mecánica

Resistencia a la tracción	60000 psi (42,2 Kg F/mm ²)
Límite de elasticidad	35000 psi (24,6 Kg F/mm ²)
Alargamiento	0.5%



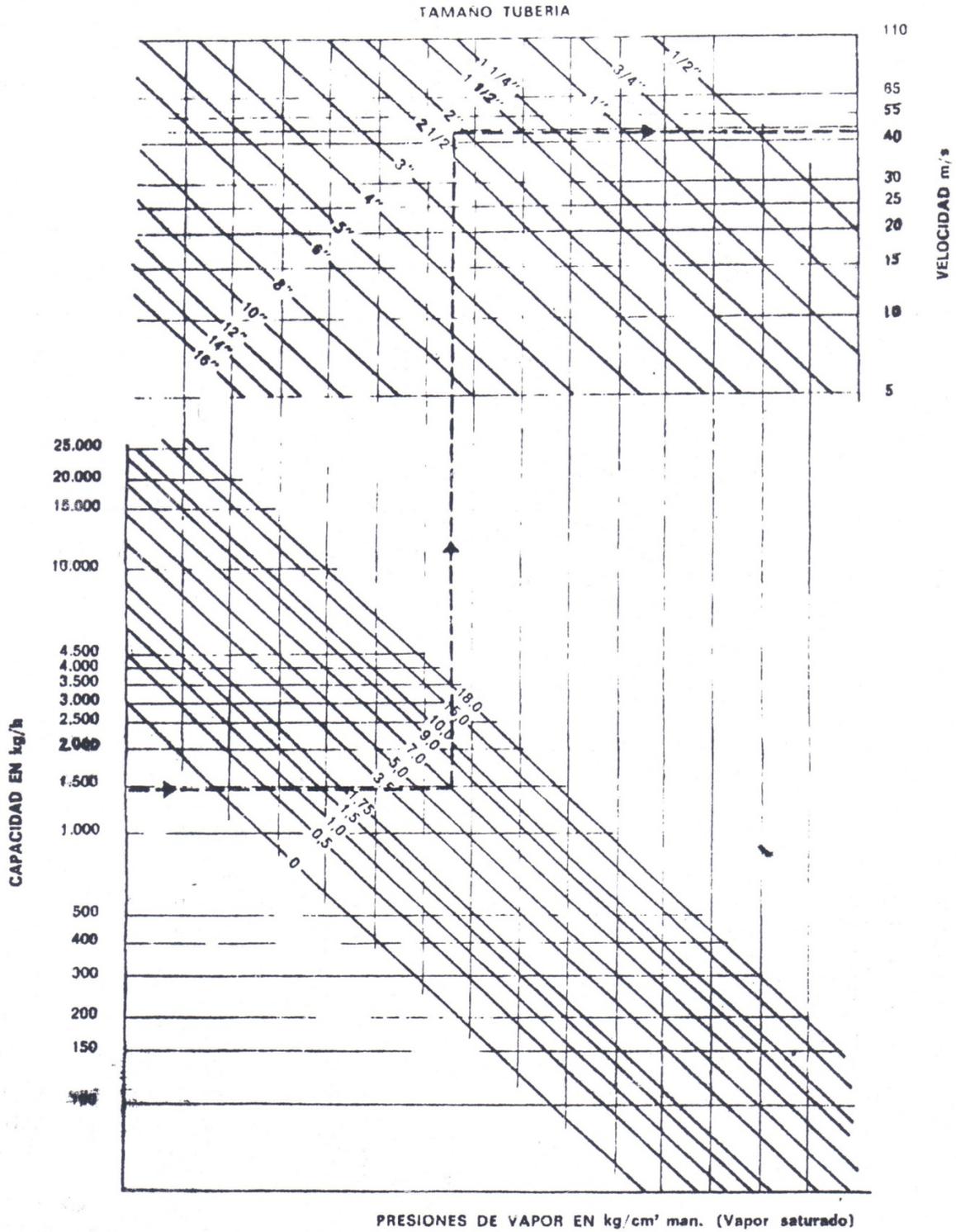
DIAMETRO NOMINAL	ESPESOR		e mm	PRESION/PRUEBA	PESO			
	EXTERIOR				pulg	kg/cm ²	lb/pulg ²	kg/mt
	mm	pulg						
1/4"	13.70	0.54	2.24	0.08	49	700	0.63	
3/8"	17.10	0.37	2.81	0.09	49	700	0.85	
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27	
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68	
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50	
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38	
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05	
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44	
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62	
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29	
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07	
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78	
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26	
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53	
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29	
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65	

Composición Química	Máximo porcentaje
Carbón	0.3
Manganeso	1.2
Fósforo	0.05
Azufre	0.06

Fuente de información: Dipac productos de aceros.

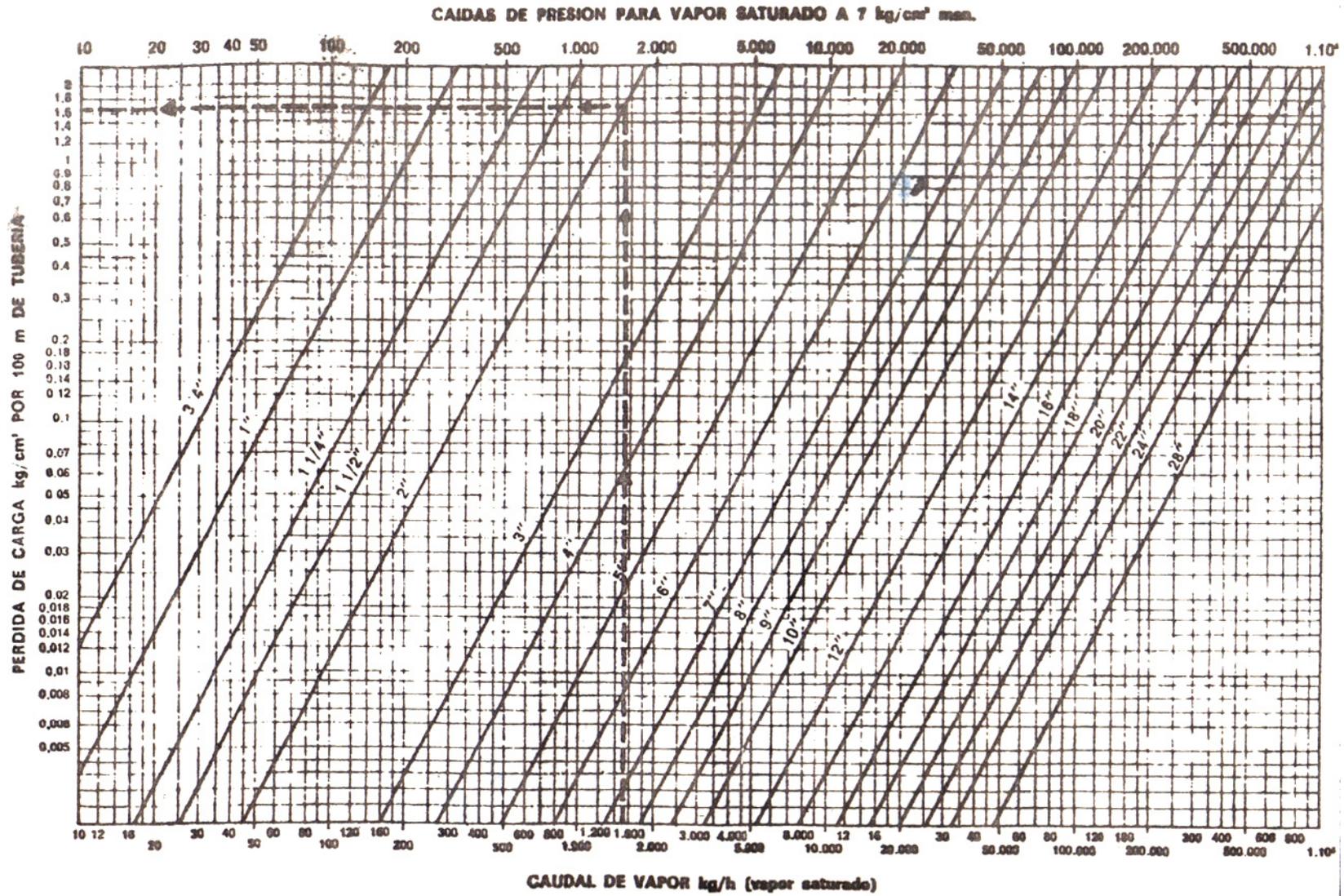
APÉNDICE K

FIGURA 8.2. DIAGRAMA PARA DIMENSIONAR TUBERÍAS DE VAPOR.



APÉNDICE L

FIGURA 8.3. DIAGRAMA PARA CALCULAR CAIDAS DE PRESIÓN

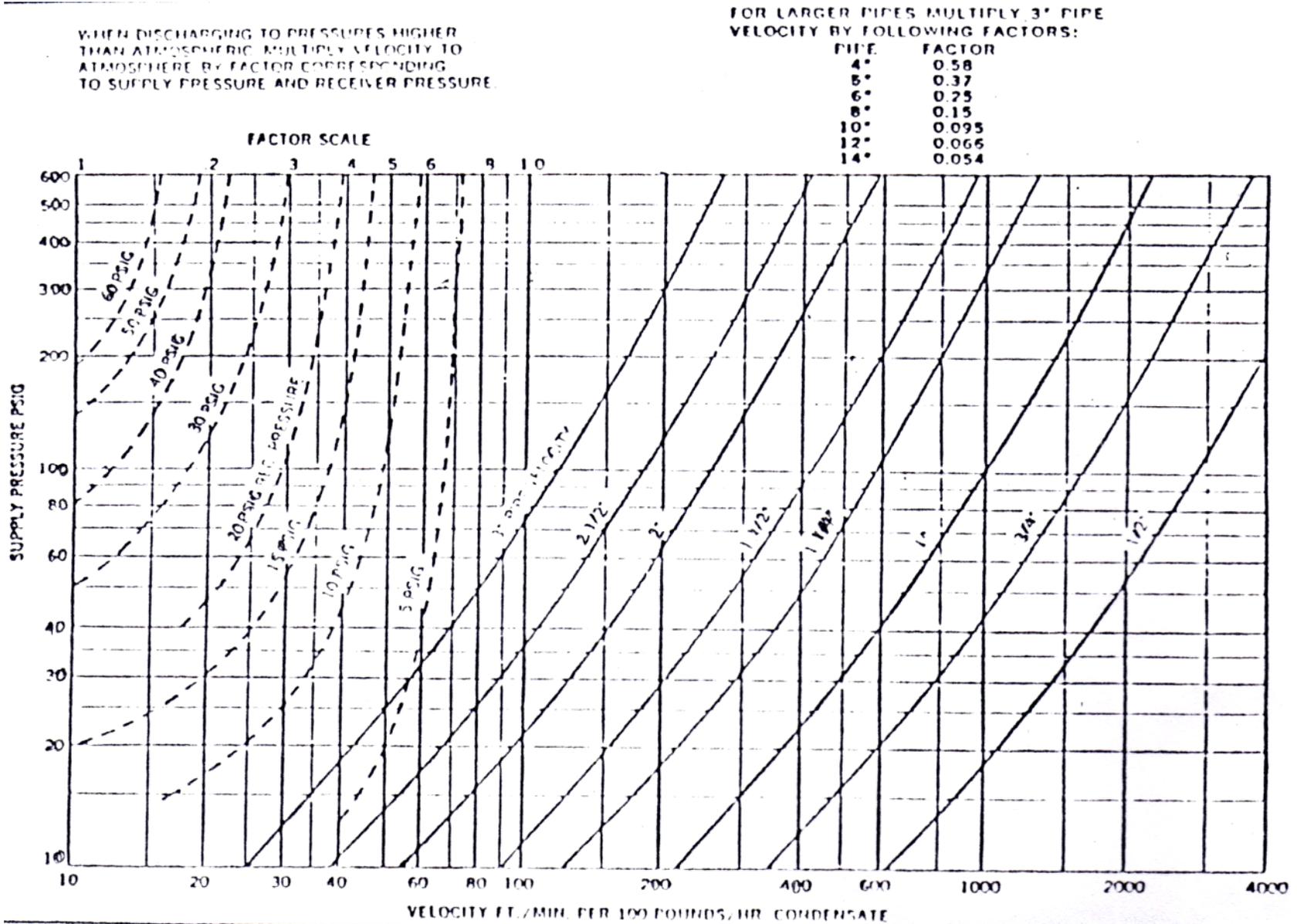


PARA OTRAS PRESIONES USAR EL FACTOR DE CORRECCION

kg/cm ²	0	0.14	0.35	0.7	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	17	21	25	28	35	42
FACTOR	6.9	6.0	5.2	4.3	3.6	3.0	2.4	1.9	1.6	1.4	1.2	1.0	0.88	0.80	0.70	0.64	0.55	0.51	0.47	0.38	0.34	0.29	0.23	0.19

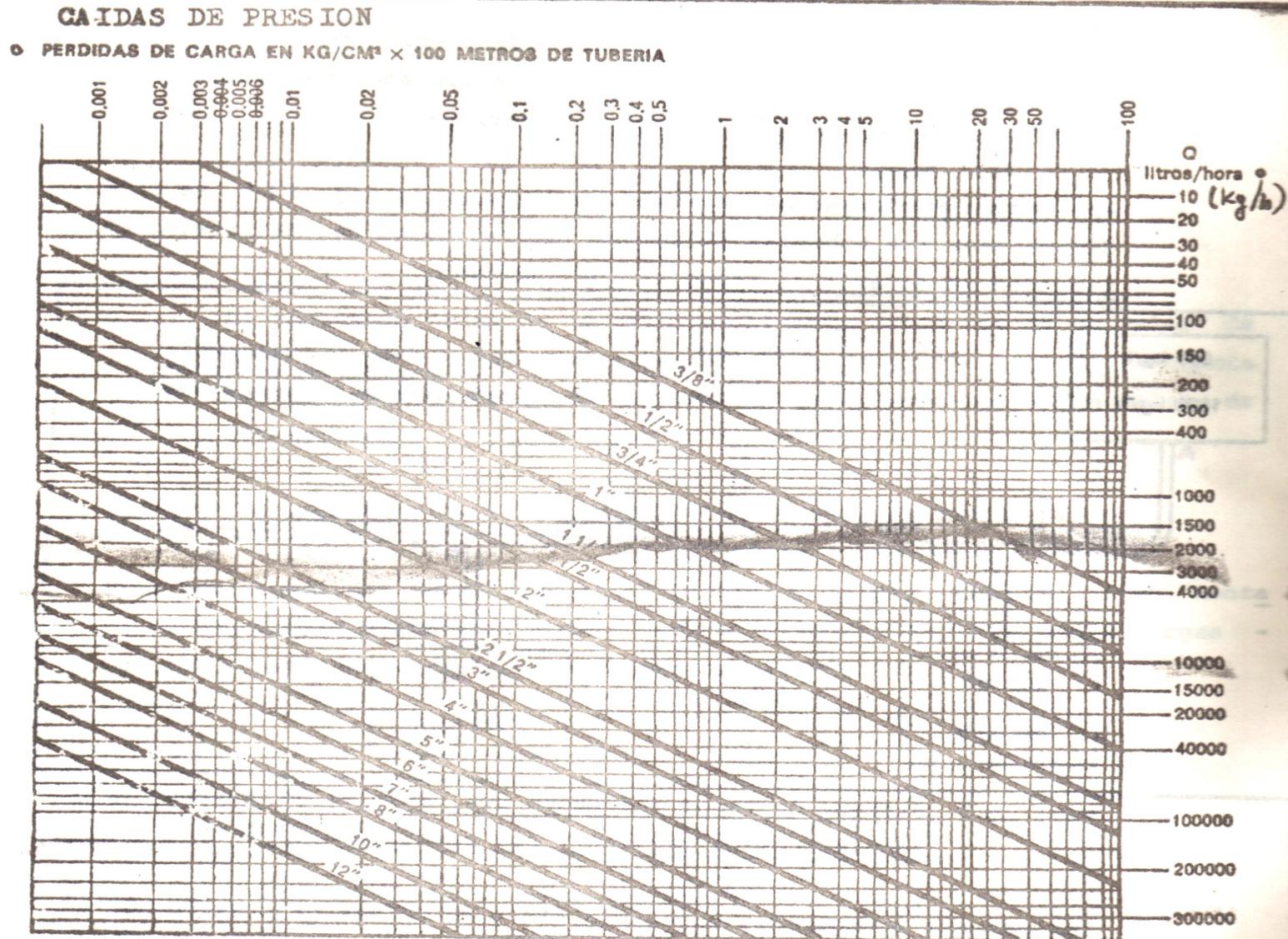
APÉNDICE M

FIGURA 8.4. DIAGRAMA PARA DIMENSIONAR TUBERÍAS DE RETORNO DE CONDENSADO.



APÉNDICE N

FIGURA 8.5. DIAGRAMA CAUDAL VS. CAÍDA DE PRESIÓN (PERDIDAS DE CARGA.)



APÉNDICE O

TABLA 24: GUÍA PARA SELECCIONAR TRAMPAS DE VAPOR

Serpentines de calefacción de aire baja y media presión, alta presión	Alternativa preferible	Alternativa tolerable
Calentadores de agua (instantáneos)	Flotador y termostática	-
Calentadores de agua (almacenamiento)	Flotador y termostática	-
Intercambiador de calor Pequeños-alta presión Grandes-baja y media presión recalentadores	Termodinámica Flotador y termostática Flotador y termostática	Flotador y termostática - -
Recipientes con camisa de vapor Alta presión Baja presión	Termodinámica Flotador y termostática	Flotador y termostática termodinámica
Trampas para drenar líneas principales de vapor 0-15psi 16-125psi 126-600psi	Flotador y termostática Termodinámica termodinámica	- Flotador y termostática Balde invertido
Serpentines de tubería de vapor (calefacción de aire)	Termostática de presión equilibrada	Termodinámica
Radiadores de vapor	Termostática de presión equilibrada	Termodinámica
Separadores de vapor 0-15psi 16-125psi 126-600psi	Flotador y termostática Termodinámica termodinámica	Flotador y termostática Balde invertido
Línea de transito de vapor	termodinámica	Expansión líquida
Serpentines de tanques de almacenamiento	Expansión líquida	termodinámica

APÉNDICE P

CARACTERÍSTICAS E INSTALACIÓN DEL AISLAMIENTO SELECCIONADO

CAÑUELA AMPLIO RANGO

DESCRIPCIÓN

Lána de vidrio rígida, preformada en forma de medias cañas para aislar tuberías calientes y frías, con temperaturas hasta 454°C (850°F) y con diámetro nominal desde ½" hasta 12".

Disponible con y sin laminado de foil de aluminio FRK.

USO

Para aislar sistemas de tuberías, incluyendo las de transporte de vapor, calefacción, enfriamiento, agua para uso doméstico caliente, fría, sistemas sanitarios y tuberías especializadas en plantas de potencia y procesos industriales.

DIMENSIONES

Diámetro: Desde ½" "hasta 12" en espesores de aislamiento desde 1" a 3".

Para especificar mayores espesores, diferentes a los nominales: Hasta 4", se puede usar 1 ó varias capas anidadas.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Conductividad térmica

0,035 W/°C.m². Valor típico (0,24 BTU.in/h.°f.ft²) a 75°F ASTM C518.

Temperatura máxima de aplicación

hasta 454 °C(850 °F) ASTM C411

Características de quemado superficial

Sin recubrimiento:
FS/SD = 25/50
Con foil expuesto:
FS/SD = 5/0

ABSORCIÓN DE LA HUMEDAD

Máximo 0,2% en volumen en 96 horas a 49°C (120°F) y 95% de humedad relativa.

EMPAQUE

Tapas de cartón con termoencogible



DIVISIÓN: AISLAMIENTOS

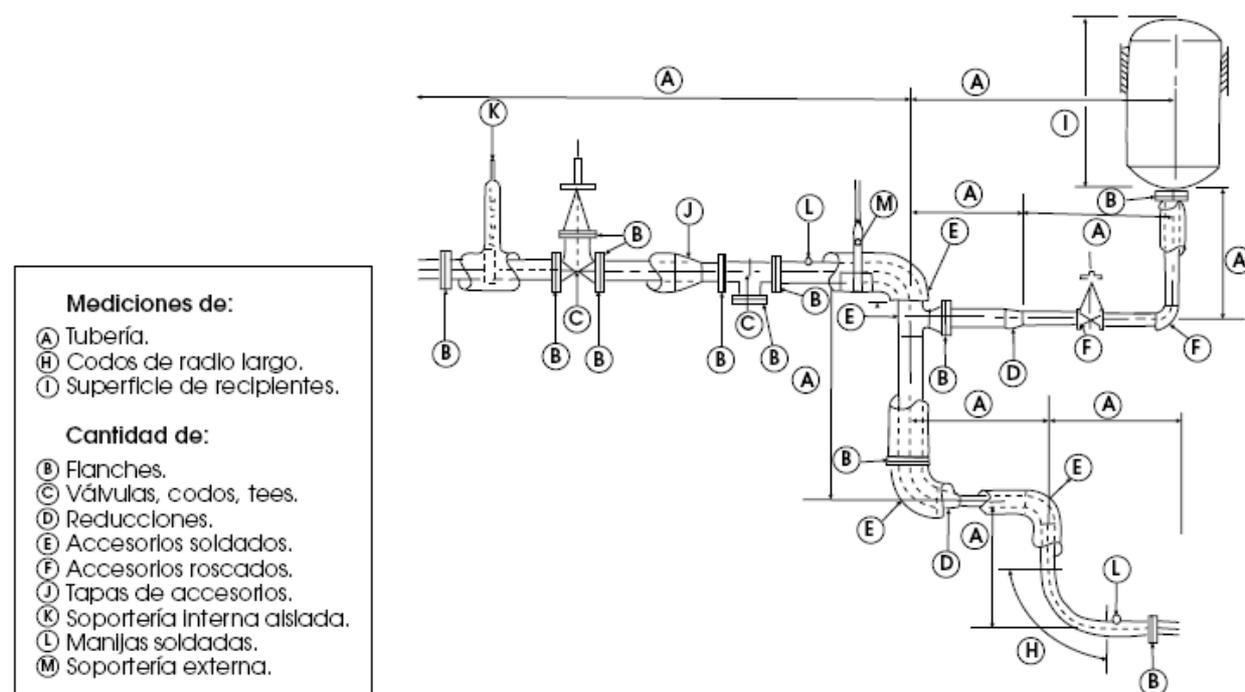
Febrero de 2000

INSTALACIÓN DE AISLAMIENTOS

Aislamiento sobre tubería

Los aislamientos sobre tuberías, representan la mayor parte de los trabajos de aislamiento comerciales e industriales.

Elementos de un aislamiento sobre tuberías



La mayoría de los sistemas de tuberías que requieren aislamiento están en un rango de temperaturas entre 32°F (0°C) hasta 1000°F (538°C), incluye las tuberías de sistemas comerciales de calefacción / ventilación / enfriamiento, sistemas sanitarios, agua doméstica caliente y fría, además las tuberías especializadas de plantas de potencia y procesos industriales.

APÉNDICE Q

CARACTERÍSTICAS DEL ABLANDADOR CULLIGAN HI-FLO 22



Quality products
and services you
can count on.



Culligan's Hi-Flo® 22 Automatic Water Softener and Filter

Options

- **Dubl-Safe™** Brine System for softeners—Positive overflow protection. Automatic refill control is backed up by shutoff float valve to minimize chance of overflow.
- **Patented Progressive Flow – Culligan's MVP™** Control can monitor flow demands bringing additional softening tanks on-line or offline as flows increase or decrease.
- **Patented Aqua-Sensor®** Control – Initiates regeneration only when needed based upon water hardness. Automatically adjusts to changes in raw water hardness and water consumption - softener only.
- **Pressure Differential Switch** for filters.
- **Bypass valve.**

Warranty

Culligan's Hi-Flo® 22 water softeners and filters are backed by a limited 1-year warranty against defects in materials, workmanship, and corrosion. The plastic conditioner tank has a 5-year warranty. See printed warranty for details.*

Some localities have corrosive water. A softener cannot correct this condition, so its printed warranty disclaims liability for corrosion of plumbing lines, fixtures, or water-using equipment. If you suspect corrosion, your independently operated Culligan® dealer has equipment to control the problem.

*See printed warranty for details. Culligan will provide a copy of the warranty upon request.

Softener Specifications

Pipe Size, All Units:	1.5"
Pressure:	20 – 125 psig 135 – 860 kPa
Power:	24 Volts 50/60hz ¹
Power Consumption:	3/100 Watts Min/Max
Vacuum:	None ²
Temperature:	33–120°F 0 – 48°C
Turbidity:	5 NTU, max. ³
Chlorine:	1 mg/L, max. ³
Iron:	5 mg/L

¹120 Volt/24 Volt CUL/UL listed Transformer Included.
²Tank warranty is void if subject to vacuum
³See media specification for details

Model	Resin Qty. (Ft ³)	Flow Rates (gpm)		Tank Size ⁴	
		Continuous ¹	Peak ²	Softener	Brine ⁵
WS-060	2	29	37	14 x 47	18 x 38
WS-090	3	29.5	38	16 x 53	24 x 40
WS-120	4	27	35	16 x 65	24 x 40
WS-150	5	33.5	45	21 x 54	24 x 48
WS-210	7	33	42	21 x 69	24 x 48

- 1 Flow rate at a 15 psi pressure loss.
- 2 Flow rate at a 25 psi pressure loss.
- 3 Dimensions are diameter by tank height.
- 4 Brine systems are optional. Size shown is size most commonly selected.
- 5 Flow rates shown are per tank. Low flow channeling (flow rates less than 0.5 gallons per minute per cubic foot of resin) may cause hardness leakage into effluent. Valve only flow rate is 42 gpm @ 15 psi and 53 gpm @ 25 psi.

Filter Specifications

Pipe Size, All Units:	1.5"
Pressure:	20 – 125 psig 135 – 860 kPa
Power:	24 Volts 50/60hz ¹
Power Consumption:	3/100 Watts Min/Max
Vacuum:	None ²
Temperature:	33 – 120°F 0 - 48°C

¹120 Volt/24 Volt CUL/UL listed Transformer Included.
²Tank warranty is void if subject to vacuum

Model	Organics Removal		Dechlorination		Backwash Flow Rate (GPM)	
	Flow Rate (GPM)	Pressure Loss (PSI)	Flow Rate (GPM)	Pressure Loss (PSI)		
Carbon Filters	CF-12	4	0.5	8	1	8
	CF-14	5	1	11	2	10
	CF-16	7	1	14	2	15
	CF-21	11	2	22	6	25
Depth Filters	Normal		Peak			
	DF-12	8	2	12	4	10
	DF-14	11	3	16	5	15
	DF-16	14	3	21	6	20
	DF-21	22	6	33	11	30

All pressure drop figures are based on new filter media and a water temperature of 60°F. Depth filters are capable of 10 micron effluent water quality, whereas all other filter types are capable of 40 micron effluent water quality.



better water. pure and simple.™

www.culligan.com
www.culligancommercial.com
1-800-CULLIGAN
©2007 Culligan International Company
Revised 03/07
Moore Wallace Part No. 46928

Aqua-Sensor Patent # US 5,699,272
Progressive Flow Patent # US 5,069,167, # US 5,351,199

The contaminants or other substances removed or reduced by this water treatment device are not necessarily in your water.

Products manufactured and marketed by Culligan International Company (Culligan) and its affiliates are protected by patents issued or pending in the United States and other countries. Culligan reserves the right to change the specifications referred to in this literature at any time, without prior notice. Culligan, Hi-Flo, Dubl-Safe, and better water, pure and simple, are trademarks of Culligan International Company or its affiliates.

Hi-Flo® 22

Automatic Water Softeners

Specifications and Operating Data

Single Tank	Exchange Capacity ¹ @ Salt Dosage			Service Flow Rates ^{2,4}		Pipe Size	Resin Qty	Softener Tank Size	Brine Tank Size ³	Approx. Ship. Weight
	Minimum	Standard	Maximum	Peak Flow	Cont. Flow					
	gr @ lb g @ kg	gr @ lb g @ kg	gr @ lb g @ kg	gpm m ³ /hr	gpm m ³ /hr					
WS-060	40,000/12	50,000/20	60,000/30	37	29	1.5	2	14 x 47	18 x 38	225
	2,592/5.4	3,240/9.1	3,888/13.6	8.4	6.6	1.5	57	356 x 1,194	457 x 965	102
WS-090	60,000/18	75,000/30	90,000/45	38	29.5	1.5	3	16 x 53	24 x 42	310
	3,888/8.2	4,860/13.6	5,832/20.4	8.6	6.7	1.5	85	406 x 1,346	610 x 1,067	141
WS-120	80,000/24	100,000/40	120,000/60	35	27	1.5	4	16 x 65	24 x 42	380
	5,184/10.9	6,480/18.1	7,776/27.2	7.9	6.1	1.5	113	406 x 1,651	610 x 1,067	172
WS-150	100,000/30	125,000/50	150,000/75	45	33.5	1.5	5	21 x 54	24 x 48	490
	6,480/13.6	8,100/22.7	9,720/34	10.2	7.6	1.5	142	533 x 1,372	610 x 1,219	222
WS-210	140,000/42	175,000/70	210,000/105	42	33	1.5	7	21 x 69	24 x 48	620
	9,072/19.1	11,340/31.8	13,608/47.6	9.5	7.5	1.5	198	533 x 1,753	610 x 1,219	281

¹ Exchange capacities based on treating water containing 10 grains per gallon (171 mg/l) of hardness (expressed as calcium carbonate), free of color, oil, turbidity and at a service flow rate of approximately 50 percent of the peak flow rate. These are nominal capacities and will vary with influent water characteristics, water temperature and other factors.

² Operation of a softener at peak flow rate for extended periods of time may result in a slight reduction of softening capacity. This is due to premature hardness breakthrough. Peak flow shown is at a 25 psi (172 kPa) pressure loss. Continuous flow shown is at a 15 psi (103 kPa) pressure loss.

³ Brine system shown is optional. Multiple sizes are available. Size shown is size most often selected for the system.

⁴ Flow rates for the valve alone are as follows: 42 gpm @ 15 psi and 53 gpm @ 25 psi.

NOTE: Operational, maintenance and replacement requirements are essential for this product to perform as advertised. Specifications shown are for single models. Also available in multiple tank configurations.



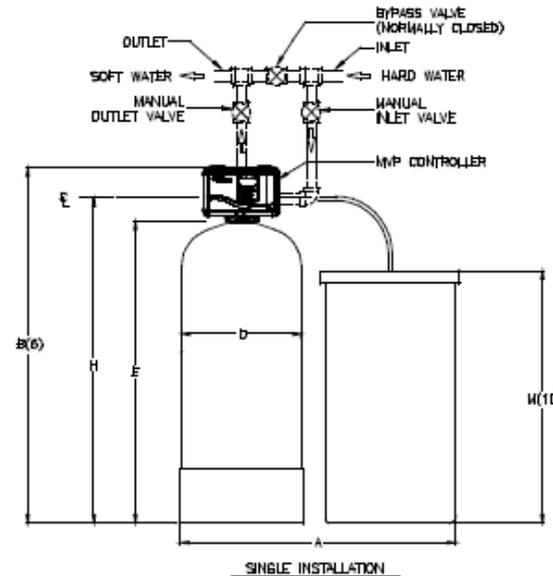
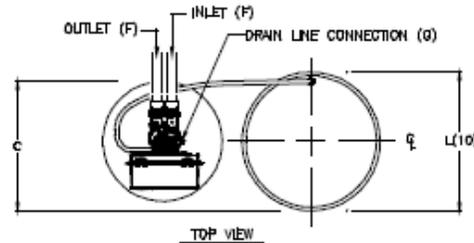
Commercial Systems
 ©2006 Culligan 11/06
 1-800-Culligan
 www.culligancommercial.com

NOTES:

- (1) ITEMS SHOWN IN BROKEN LINES TO BE FURNISHED BY OTHERS.
- (2) ALL DIMENSIONS ARE ± 1 INCH (25mm) AND SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE.
- (3) UNIONS SHOULD BE LOCATED ON INLET AND OUTLET CONNECTIONS OF CONTROL VALVE TO FACILITATE SERVICING.
- (4) THE USE OF DISSIMILAR METALS IN A PIPING SYSTEM IS NOT RECOMMENDED. WHERE DISSIMILAR METALS MUST BE CONNECTED IN A WATER SYSTEM, THE USE OF NONCONDUCTIVE (DIELECTRIC) FITTINGS MAY REDUCE GALVANIC CORROSION.
- (5) AN ELECTRICAL OUTLET SHOULD BE PROVIDED WITHIN FIVE FEET OF THE EQUIPMENT LOCATION.
- (6) ALLOW A MINIMUM OF 24 INCHES ABOVE SOFTENER FOR FILLING.
- (7) TO PERMIT THE OBSERVATION OF THE DRAIN FLOW DO NOT MAKE A DIRECT CONNECTION TO THE DRAIN. PROVIDE AN AIR GAP OF AT LEAST FOUR TIMES THE DIAMETER OF THE DRAIN PIPE OR CONFORM TO LOCAL SANITATION CODES.
- (8) SYSTEM USES FRP TANKS WHICH MUST NOT BE SUBJECTED TO VACUUM. INSTALL SIPHON BREAK ON DRAIN LINE. INSTALL VACUUM BREAKER ON INLET PIPING IF THE SERVICE LINE IS SUBJECT TO A VACUUM.
- (9) FOR MAXIMUM PROTECTION OF THE CONTROLLER, IT IS RECOMMENDED THAT A DEDICATED 120 VOLT CIRCUIT IS PROVIDED.
- (10) BRINE TANK DIMENSIONS SHOWN ARE FOR THE BRINE TANK MOST COMMONLY SELECTED FOR USE WITH THIS SIZE SYSTEM.
- (11) OPTIONAL BYPASS VALVE IS AVAILABLE AND CAN BE USED IN PLACE OF THE THREE VALVE BYPASS SHOWN.
- (12) SHIPPING AND OPERATING WEIGHTS SHOWN ON THIS DRAWING INCLUDE THE BRINE SYSTEM.

DIMENSIONS (INCHES)

MODEL	DIMENSIONS (INCHES)								UNIT DATA PER TANK									
	WIDTH A	HEIGHT B(6)	DEPTH C	TANK DIA. D	TANK HEIGHT E	INLET/OUTLET PIPE SIZE F	DRAIN SIZE G	FLOOR TO INLET H	BRINE TANK DIA. L(10)	BRINE TANK HEIGHT N(10)	MAX. CAPACITY LBS. OF SALT DOSAGE	RESIN VOLUME FT ³	CONTINUOUS FLOW gpm @ 10 psi drop	PEAK FLOW gpm @ 25 psi drop	DRAIN FLOW gpm	MIN. DRAIN PIPE SIZE IN.	SIMPLEX OPER. WT. lbs.	SIMPLEX SHIP. WT. lbs.
WS-060	39	57	19	14	47	1.5	1.0	52	18	38	60 @ 30	2	29	37	5	0.75	842	245
WS-090	47	63	24	18	53	1.5	1.0	57	24	40	90 @ 45	3	29.5	38	6	0.75	1235	341
WS-120	47	75	24	18	65	1.5	1.0	69	24	40	120 @ 60	4	27	35	7	1.0	1379	412
WS-150	50	65	24	21	55	1.5	1.0	59	24	40	150 @ 75	5	28.5	45	12	1.0	1578	524
WS-210	50	79	24	21	69	1.5	1.0	73	24	30	210 @ 105	7	33	42	12	1.0	1950	668



DO NOT SCALE DRAWING
TOLERANCES ±1/8" UNLESS OTHERWISE NOTED

Let.	Change	By	App	Date

Culligan®
ENGINEERED SYSTEMS
NORTHBROOK, ILLINOIS

PRINT AND BILL OF MATERIAL ARE NOT TO BE USED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CULLIGAN INTERNATIONAL CO.

NAME HI-FLO 22, 1-1/2" AUTOMATIC SOFTENER SINGLE TECHNICAL DATA SHEET			
DETAILED BY: MHR	2/08/07	APP. BY:	SHEET 1 OF 1
REF. NO.	PART NO. HF-22_5-1		

APÉNDICE R

TRAMPA TIPO FLOTADOR TERMOSTÁTICA FT - 550

SPIRAX SARCO

TRAMPAS DE FLOTADOR PARA VAPOR MODELO FT-550

Aplicación:

Por su principio de funcionamiento de descarga continua, el condensado es eliminado en la medida en que se forma, no afectando la presión existente dentro del equipo; razón por la cual es considerada ideal para instalarla en intercambiadores de calor de cualquier naturaleza, calentadores de aire y en todas aquellas instalaciones que deban ser controladas termostáticamente o por presión. Como incluye un venteador, éste elimina el aire en las partidas aumentando el rendimiento térmico del equipo y acorta el tiempo de calentamiento.

Características principales:

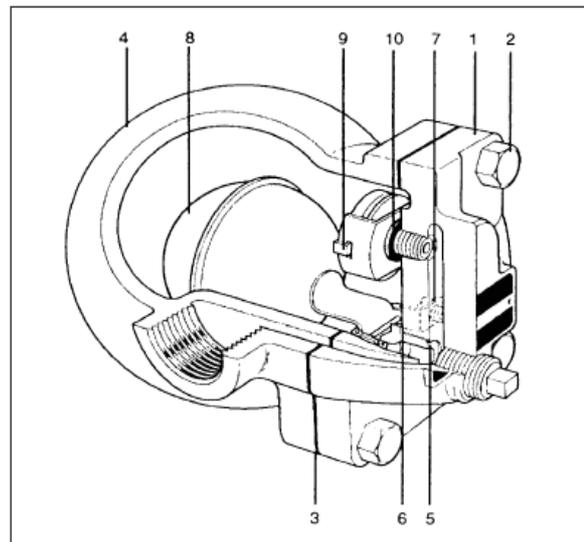
- Sumamente compacta en relación a la gran capacidad de descarga; trabaja con la misma eficiencia ya sea con pequeñas o grandes cargas de condensado.
- Su diseño no le permite ser afectada por variaciones de presión o fluctuaciones de caudal.
- Incorpora venteador termostático para el aire y/o eliminador de bloqueo por vapor (SLR) en forma individual o como conjunto, lo cual es una gran ventaja en el funcionamiento de cilindros papeleros, en textiles y en toda aplicación de procesos.
- Devuelve el condensado con alrededor de 3 °C sobre cualquier trampa, ahorrando energía.
- Todo lo anterior la transforma en una trampa ideal para procesos

Rangos de operación:

- Presión máxima de operación : 200 psi (14 bar)
- Temperatura máx. De operación : 388°F (198 °C)
- Presión máxima diseño cuerpo : 232 psi (16 bar)
- Temperatura máx. Diseño cuerpo : 572 °F (300 °C)
- Prueba hidráulica : 348 psi (24 bar)

Materiales:

N	Parte	Material
1	Tapa	Acero SG DIN 1693 GGG 40
2	Pemos tapa	Acero UNF 3/8" x 1"
3	Juntura tapa	Fibra asbesto grafitado
4	Cuerpo	Fierro SG DIN 1693 GGG 40
5	Asiento válvula principal.	Acero inoxidable AISI 431
6	Juntura asiento válvula.	Acero inoxidable AISI 304
7	Tornillos válvula. Principal.	Acero inoxidable 2BA x 1/4"
8	Flotador y palanca	Acero inoxidable AISI 304
9	Elemento venteo aire	Acero inoxidable
10	Juntura del venteo	Acero inoxidable AISI 304

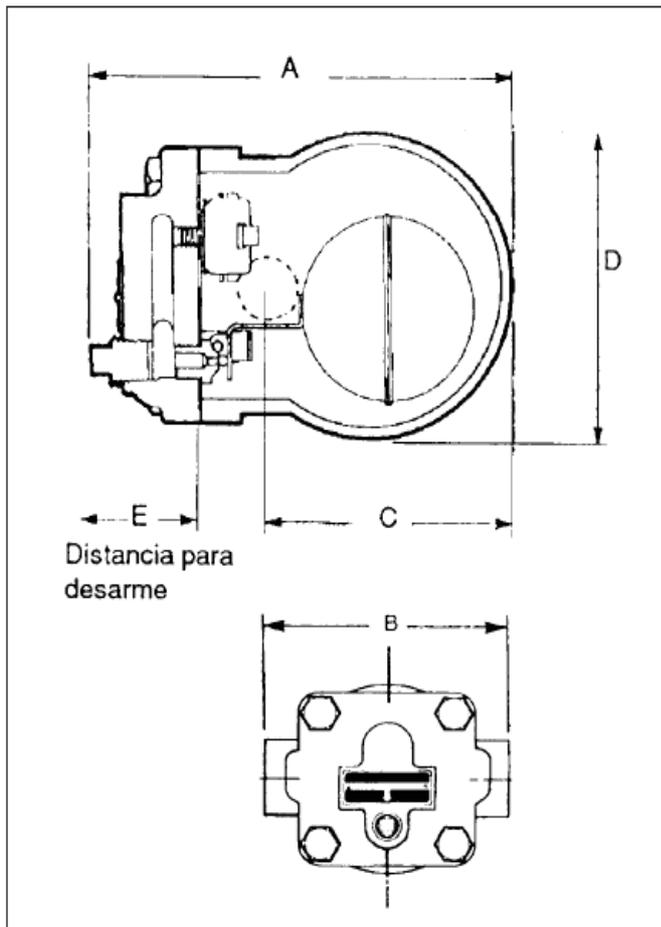


Conexiones:

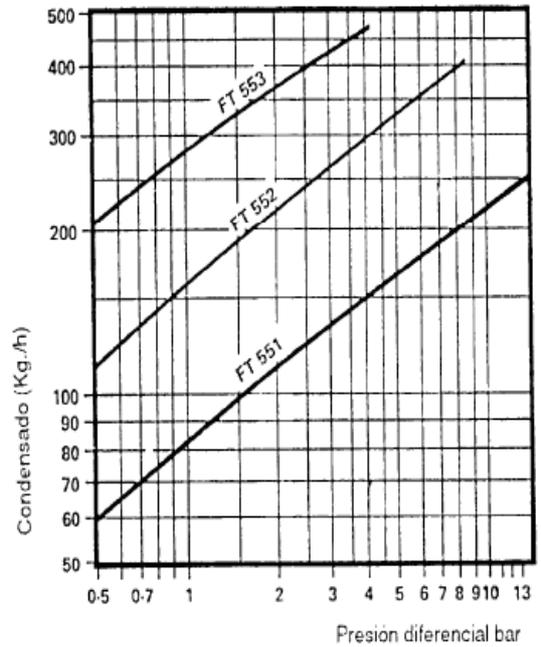
Trampas de 3/4" con rosca NPT o BSPT.

Dimensiones (aproximadas en mm):

Tamaño	A	B	C	D	E	Peso (kg)
3/4"	143	121	73	97	102	2.05



capacidades:



Instalación:

- La trampa debe instalarse en el plano horizontal, de tal forma que el mecanismo flotador quede libre de subir y bajar en el plano vertical.
- Debe instalarse un filtro tipo Y a la entrada,

TRAMPA TIPO FLOTADOR TERMOSTÁTICA FT - 14

SPIRAX SARCO

TRAMPA FLOTADOR PARA VAPOR MODELO FT-14 (1-1/2 y 2")

Aplicación:

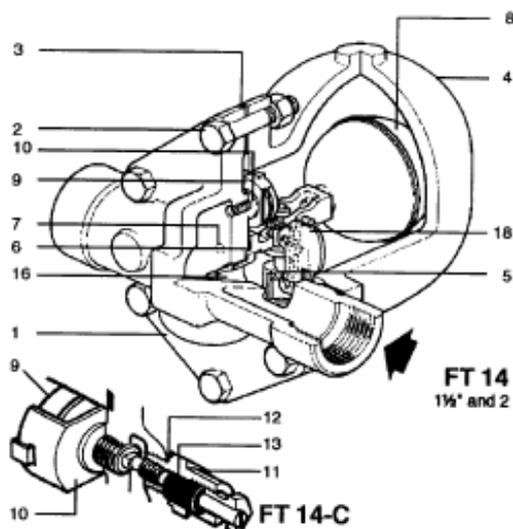
Por su principio de funcionamiento de descarga continua, el condensado es eliminado en la medida en que se forma, no afectando la presión existente dentro del equipo; razón por la cual es considerada ideal para instalarla en intercambiadores de calor de cualquier naturaleza, calentadores de aire y en todas aquellas instalaciones que deban ser controladas termostáticamente o por presión. Al eliminar el aire en las partidas aumenta el rendimiento térmico del equipo y acorta el tiempo de calentamiento.

Características principales:

- Sumamente compacta en relación a la gran capacidad de descarga; trabaja con la misma eficiencia con pequeñas o grandes cargas de condensado.
- Su diseño no le permite ser afectada por variaciones de presión o fluctuaciones de caudal. Devuelve el condensado 3 °C sobre cualquier trampa, ahorrando energía.
- Incorpora venteador termostático para el aire y/o eliminador de bloqueo por vapor (SLR) en forma individual o como conjunto, lo cual es una gran ventaja en el funcionamiento de cilindros papeleros, en textiles y en toda aplicación de procesos.

Materiales:

N	PARTE	MATERIAL
1	Cuerpo	Hierro fundido DIN 1691 GG 25
2	Bulones y tuercas de tapa	Acero BS 3692 GR. 8.8
3	Junta de tapa	Grafito reforzado
4	Tapa	Hierro fundido DIN 1691 GG 25
5	Conjunto obturador con deflector	Grafito reforzado
6	Junta del conjunto obturador	Acero inox BS 1449 304 S11
7	Bulones del conjunto obturador	Acero inoxidable BS 6105 A4 - 80
8	Flotante y palanca	Acero inox BS 1449 304 S16
9	Venteador termostático	Acero inoxidable
10	Junta del asiento del venteador de aire	Acero inox. BS 1449 304 S11
11	SLR	Acero inox. BS 970 303 S21
12	Junta del SLR	Acero dulce BS 1449 CS4
13	Asiento SLR	Grafito
14	Marco soporte	Acero inox BS 1449 304 S16
15	Marco pivote	Acero inoxidable
16	Deflector	Acero inox BS 970 431 S29
17	Pivote	Acero inoxidable
18	Deflector de entrada	Acero inox BS 1449 304 S16



Condiciones límite de operación (Iso 6552):

- Condiciones de diseño del cuerpo PN16
- PMA máxima presión permitida 16 bar
- TMA máxima temperatura permitida 220c
- Prueba hidráulica en frío 24 barg

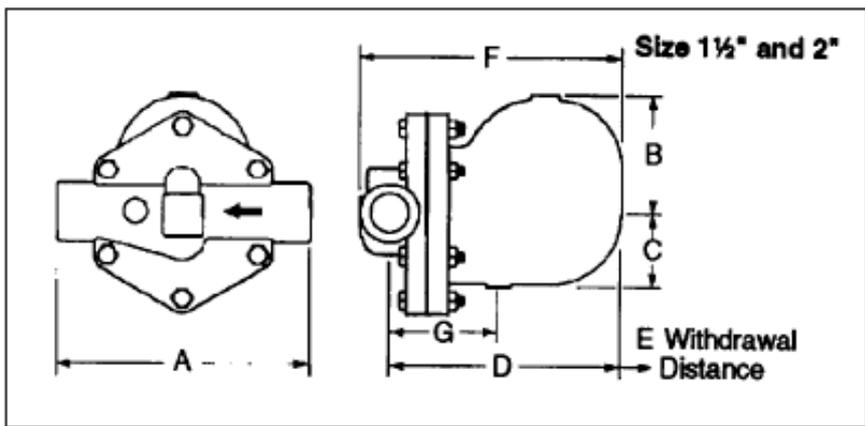
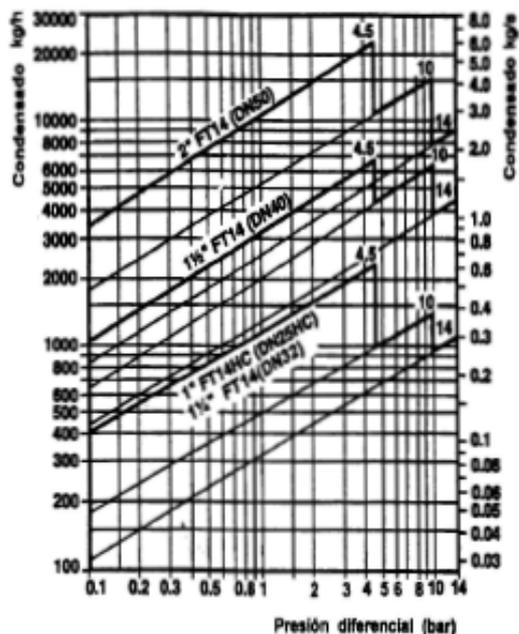
Máxima presión diferencial (Pmx)	
FT 14-4.5	4.5 bar
FT 14-10	10 bar
FT 14-14	14 bar

Conexiones: 1-1/2" y 2" roscada BSP o NPT.

Dimensiones (aproximadas en mm):

Tamaño	A	B	C	D	E	F	G	Peso (KG.)
1-1/2"	270	130	108	238	200	270	115	17.5
2"	300	138	125	250	200	288	140	22

Capacidad:



Instalación:

Esta trampa debe ser instalada con el mecanismo de palanca en plano horizontal y con la dirección de flujo indicada en el mecanismo. Debe instalarse un filtro tipo "Y" a la entrada de la trampa, y un visor en la descarga para observar su funcionamiento.

APÉNDICE S
VÁLVULA REGULADORA DE TEMPERATURA 25T

SPIRAX SARCO

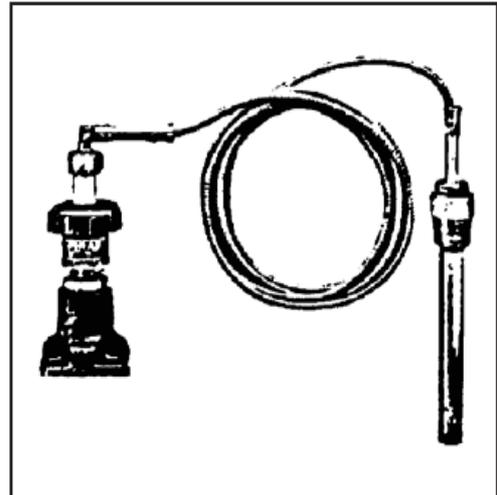
VÁLVULA REGULADORA DE TEMPERATURA MODELO 25T

Aplicación:

- Ocupadas en todos los sistemas y equipos que utilizan vapor y requieran un buen control.
- La válvula 25T consiste en un cuerpo válvula serie 25 controlada por un piloto de temperatura.

Características principales:

- Bajo costo de mantenimiento, por su diseño exclusivo, se puede acceder fácilmente a las partes vitales de ellas.
- Cierre total de seguridad. Cuando el piloto cierra, el obturador se ubica contra su asiento debido a la fuerza ejercida por el resorte antagónico y la presión diferencial a través de la válvula.
- Sensibles y estables al mismo tiempo, respondiendo inmediatamente a cargas variables, ya sean livianas o pesadas.
- El piloto de temperatura incluye un dial calibrado con el cual es posible fijar la temperatura deseada sin hacer tanteos. La simple lectura del dial indica exactamente el ajuste a efectuar.
- El sistema que acciona la válvula del piloto de temperatura utiliza un fluido incompresible, muy sensible a los cambios de temperatura de forma tal, que las expansiones y contracciones producidas por esta en el líquido aseguran un movimiento uniforme de la válvula.
- Posee un mecanismo de protección por alta temperatura, obligando al cierre de la válvula.



Rangos de operación:

- Presión máxima de operación : 250 psi (17 bar)
- Temperatura máxima de operación : 380 F (200 C)
- Temperatura del bulbo no debe exceder los 350F (177C).
- Rangos de temperatura de los pilotos:

15 C a 50 C	70 C a 105 C
35 C a 70 C	90 C a 125 C
50 C a 85 C	115 °C a 150°C

Materiales:

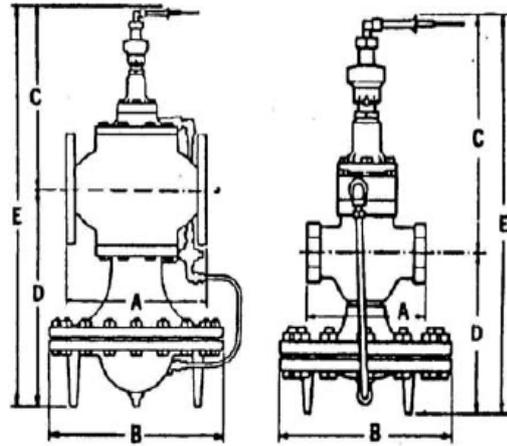
- Las válvulas reguladoras serie 25 estén fabricadas con materiales de la más alta calidad, resistente a la corrosión y a la temperatura. Los elementos críticos: vástagos, obturadores, guías, asientos y otros son de acero inoxidable. Los diafragmas están contruidos con doble lamina de bronce especial y los sellos del piloto son de PTFE.

Tamaños y conexiones:

- De ½", ¾", 1", 1¼", 1½", y 2" con conexión rosca Bspt, de 2½", 3" y 4" con brida.
- Largo estándar capilar de 2.5 m. Se fabrican a pedido desde 4.5 m hasta 8.0 m.

Dimensiones: aproximadas en milímetros:

Medida		A		B	C	D	E	Peso
Mm	pulg.	Rosca brida						Kg
13	½	140	161	193	249	157	406	12
19	¾	140	160	193	249	157	406	12
25	1	152	168	219	248	171	479	15
32	1¼	184	206	219	265	179	501	18
38	1½	184	218	219	262	179	501	18
51	2	216	242	269	262	208	546	28
63	2½	-	292	346	297	354	651	69
76	3	-	318	346	294	367	660	84
102	4	-	368	397	322	410	735	127



Instalación:

Todas las válvulas deben ser instaladas en cañerías horizontales en posición vertical con el piloto hacia arriba. Suciedad, vapor húmedo y una pobre instalación son los principales enemigos de estas válvulas.

Nota:

Para mayores capacidades, principio de funcionamiento o materiales, consulte a nuestro departamento técnico, ingeniero o técnico de su área.

APÉNDICE T
VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN 25P Y 25 PE

SPIRAX SARCO

VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN MODELO 25P Y 25PE

Aplicación:

- Ocupadas en todos los sistemas y equipos que utilizan vapor o aire comprimido y requieran un buen control.
- La válvula 25P consiste en un cuerpo válvula serie 25, controlada por un piloto de presión.
- La válvula 25Pe consiste en un cuerpo válvula serie 25, controlada por un piloto de presión y uno eléctrico.

Características principales:

- Bajo costo de mantenimiento, por su diseño exclusivo se puede acceder fácilmente a las partes vitales de ellas.
- Cierre total de seguridad. Cuando el piloto cierra, el obturador se ubica contra su asiento debido a la fuerza ejercida por el resorte antagonico y la presión diferencial a través de la válvula.
- Sensibles y estables al mismo tiempo, respondiendo inmediatamente a cargas variables, ya sean livianas o pesadas.
- Funcionamiento autocomandado, no necesitando de fuente exterior de energía, excepto con el piloto eléctrico.
- Con el piloto energizado la 25Pe actua como reductora reguladora de presión. En caso contrario cierra herméticamente. La aplicación mas corriente es como control remoto de un sistema de presión controlada. El piloto eléctrico responde a señales como las indicadas para 25E. Es ideal en aquellos procesos donde es necesario un control de seguridad o un control ciclico.

Rangos de operación:

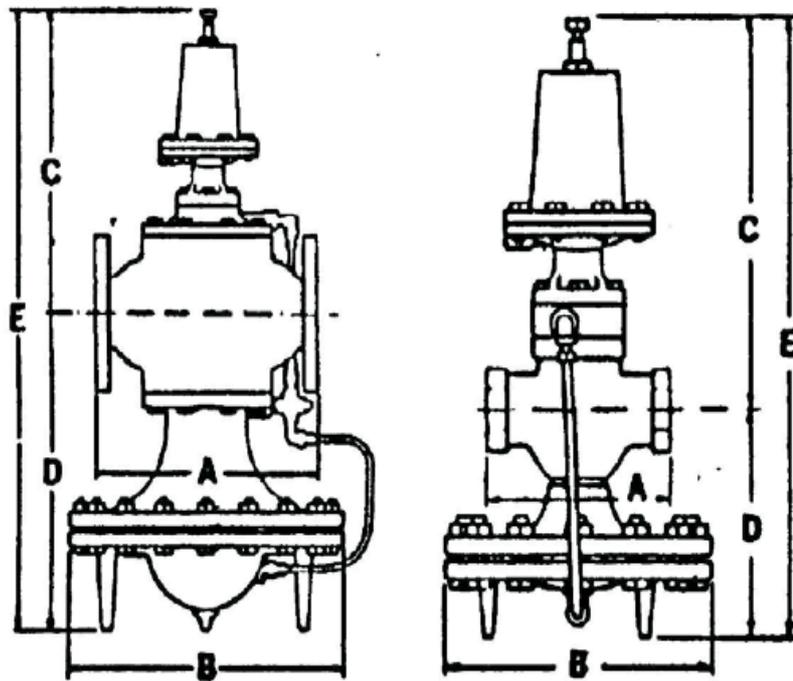
- Presión máxima de operación : 250 psi (17 bar)
- Temperatura máxima de operación : 380F (200 C)
- Temperatura del vapor para el piloto eléctrico no debe exceder los 408F (208C).

Materiales:

- Las válvulas reguladoras serie 25 están fabricadas con materiales de la mas alta calidad, resistente a la corrosión y a la temperatura. Los elementos críticos: vástagos, obturadores, guías, asientos y otros son de acero inoxidable. Los diafragmas están contruidos con doble lámina de bronce especial y los sellos del piloto son de PTFE.

Tamaños y conexiones:

- De 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", y 2" con conexión rosca Bspt, de 2 1/2", 3" y 4" con brida.



Dimensiones aproximadas en milímetros.

Medida		A		B	C	D	E	Peso Kg
mm	pulg.	Rosca	brida					
13	½	140	161	193	309	157	466	14
19	¾	140	160	193	309	157	466	14
25	1	152	168	219	308	171	479	17
32	1¼	184	206	219	322	179	501	20
38	1½	184	218	219	322	179	501	20
51	2	216	242	269	338	208	546	31
63	2½	-	292	346	297	354	651	71
76	3	-	318	346	294	367	660	85
102	4	-	368	397	325	410	735	129

Instalación:

Todas las válvulas deben ser instaladas en cañerías horizontales en posición vertical con la caja del resorte hacia arriba. Suciedad, vapor húmedo y una pobre instalación son los principales enemigos de estas válvulas.