

T
621.1
H565
C.2



ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA

“Cálculo de una Planta Piloto de Vapor para la Escuela de
Tecnología de Alimentos de la ESPOL”

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

PRESENTADO POR

DENNYS FERNANDO HERRERA LAINEZ

Año Lectivo 1995

Guayaquil

Ecuador



El Jurado Calificador en vista de las pruebas
rendidas otorga a este trabajo las siguientes

CALIFICACIONES

Trabajo Escrito: _____

Exposición Oral: _____

Equivalente a _____

Jurado Calificador



**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**
Facultad de Ingeniería en Mecánica

"Cálculo de una Planta Piloto de Vapor para la Escuela de Tecnología de Alimentos de la ESPOL".

Tesis de Grado

Previa a la Obtención del Título de :

INGENIERO MECANICO

Presentado por :

DENNYS FERNANDO HERRERA LAINEZ

Guayaquil - Ecuador

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Angel Vargas
Zúñiga, Director de tesis, por
su ayuda y colaboración para
la realización de éste trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres

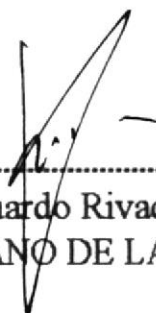
Con amor y cariño les dedico mi educación, en especial a mi madre, la Lcda. Leonor Lainez de Herrera, porque gracias al esfuerzo, respaldo y comprensión, guiaron mis pasos por el camino de la superación hasta culminar con éxito mi carrera.

A mis hermanos

Leonor y Víctor les dedico este triunfo logrado, en especial a mi hermana, ya que con su valiosa ayuda culminé el presente trabajo.

A mi enamorada


Johanna que con sus consejos me incentivó a culminar éste trabajo.



Ing. Eduardo Rivadeneira
SUB-DECANO DE LA FACULTAD



Ing. Angel Vargas Zúñiga
DIRECTOR DE TESIS



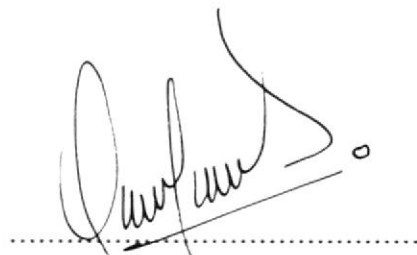
Ing. Ernesto Martínez
TRIBUNAL PRINCIPAL



Ing. Francisco Andrade
TRIBUNAL SUPLENTE

DECLARACIÓN EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ."

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dennys Herrera Lainez', is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and cursive.

Dennys Herrera Lainez

RESUMEN

El siguiente trabajo fue realizado con la finalidad de mejorar la Planta Piloto de Vapor ya existente en la Escuela de Tecnología de Alimentos de la ESPOL, la cual no ha sido diseñada teniendo en consideración las normas y técnicas requeridas para su adecuado funcionamiento.

En la elaboración de la tesis se siguieron las siguientes etapas:

- a) Se visitó e inspeccionó la Planta Piloto de vapor para constatar el estado de los equipos y además obtener los datos de consumo de vapor de cada equipo para así elaborar la tesis.
- b) Luego se recopiló, planificó y organizó la información obtenida.
- c) Por último se realizaron los cálculos y operaciones.

Los resultados del trabajo son los siguientes :

La caldera que se considera es del tipo pirotubular vertical con una presión de trabajo de 100 psi de 30 Caballos de Caldera. De acuerdo a los cálculos realizados necesitamos una caldera de 25 C.C., y como en el

mercado no existen de éste caballaje se seleccionó la inmediata superior para poder así satisfacer la demanda de vapor.

Cabe indicar que la selección de la caldera se la hizo por medio de catálogos de la Cleaver Brooks.

Sistema de agua de alimentación

El 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 constante de vapor.

El sistema de agua de alimentación de nuestra caldera estará compuesto por los siguientes elementos :

- tanque (s) de almacenamiento
- equipo de bombeo; y,
- equipo de control.

Los tanques de almacenamiento pueden ser: de agua de alimentación o de condensado al mismo tiempo, en nuestro caso el tanque hará ambas funciones.

El equipo de control está compuesto por: las válvulas de regulación del agua de alimentación y los dispositivos de control.

El sistema de agua de alimentación de la caldera se compone de un tanque de 55 galones y de acuerdo a los cálculos se necesita uno de 50 galones, por lo tanto se puede utilizar el mismo tanque pero poniéndole una tapa con venteo, la cual no posee.

El sistema de combustible

Los componentes de un sistema de combustible son:

- Tanques y tuberías de combustible
- Bombas de alimentación y de trasiego
- Quemadores
- Accesorios
- Separadores (purificadores) de combustible. Para nuestro caso no se ha incluido el uso de estos.

La caldera actualmente utiliza el diesel oil como combustible a quemar, lo cual la hace antieconómica.

Nuestra caldera funcionará con Bunker No. 6 como combustible a quemar. Los inconvenientes que presenta el Bunker No. 6 es que es un combustible no muy limpio, y además es muy pesado (viscoso). Este problema se soluciona calentándolo para bajar su viscosidad poniendo precalentadores, uno en el tanque de combustible de uso diario, y otro antes que éste ingrese a la boquilla del quemador. En este último precalentador, la temperatura del Bunker debe estar aproximadamente a 100°C.

Controles automáticos

Los controles automáticos de las calderas tienen 2 funciones básicas:

- Regulación ; y ,
- Seguridad

El funcionamiento normal y eficiente de la caldera es dependiente de los diferentes instrumentos de medición instalados en ella, los cuales se encargan de regular los diferentes sistemas (agua de alimentación,

combustible, etc.). Además otros controles son usados por razones de seguridad.

Tuberías de vapor y retorno de condensado

Las tuberías de vapor y retorno de condensado fueron dimensionadas tomando en cuenta : el caudal másico que circulará por ella, la presión de vapor, la caída de presión máxima admisible la longitud total de la tubería, y para las tuberías de retorno de condensado: las cargas de condensado, la presión en la tubería de retorno y la velocidad permisible. Tomando en cuenta éstos factores y realizando los cálculos nos salieron tuberías de 1" de diámetro para ambos casos (tuberías de vapor y retorno de condensado).

Aislante

El material aislante que se recomendó usar es **lana mineral**, cabe hacer notar que las tuberías estaban desprovistas de aislamiento.

Como esta Planta Piloto no tenía tubería de retorno de condensado, no poseía trampas de vapor las cuales después de un análisis detallado y

ayudados por medio de tablas las seleccionamos siendo éstas del tipo flotador y termostática, y en caso de no encontrar en el mercado, se puede usar la trampa Termodinámica como una alternativa que también sería tolerable para el circuito de retorno de condensado.

INDICE GENERAL

	Pág.
Resumen	I
Indice General	VII
Indice de figuras	XII
Indice de diagramas	XIII
Indice de Tablas	XIV
Introducción	i
 Capítulo # 1	
1. Funcionamiento y descripción de los equipos	2
1.1 Descripción y funcionamiento de los equipos existentes en la Planta Piloto de la Escuela de Tecnología de Alimentos	2
1.1.1 Caldera	2
1.1.2 Autoclaves	3
1.1.3 Marmitas	9
1.1.4 Cocinador	10

	Pág.
1.1.5 Evacuador	11
 Capítulo # 2	
2. Selección de la caldera	15
2.1 Introducción	15
2.2 Clasificación de las calderas	16
2.3 Factores que intervienen en la selección de calderas	20
2.4 Balance térmico de cada equipo	22
 Capítulo # 3	
3. Sistema de agua de alimentación	33
3.1 Introducción	33
3.2 Dimensionamiento del tanque de agua de alimentación	34
3.3 Criterios de selección de las bombas de agua de alimentación	36
3.4 Selección de la bomba	39

	Pág.
Capítulo # 4	
4. Sistema de combustible	42
4.1 Tipos de combustible que puede quemar una caldera	42
4.2 Componentes del sistema de combustible	43
4.3 Dimensionamiento del tanque de combustible	53
4.4 Cálculo de la potencia del motor de la bomba	55
Capítulo # 5	
5. Controles de calderas	58
5.1 Generalidades	58
5.2 Control de la combustión	59
5.3 Control de nivel	60
5.4 Seguridad de llama	63
5.5 Programadores	64
5.6 Presostatos	66
5.7 Termostatos	68
5.8 Aparatos de control que tendrá la Planta Piloto	70

	Pág.
Capítulo # 6	
6. Cálculo y dimensionamiento de las tuberías de vapor y retorno de condensado	74
6.1 Parámetros necesarios para dimensionar las tuberías de vapor y de retorno de condensado	74
6.2 Procedimiento de cálculo de las tuberías de vapor y de retorno de condensado	76
6.3 Cálculo y selección del aislamiento de las tuberías de vapor y retorno de condensado	88
Capítulo # 7	
7. Trampas de Vapor	92
7.1 Definición	92
7.2 Tipos de trampas de vapor	92
7.3 Selección de las trampas de vapor	94
7.4 Ubicación de las trampas de vapor	95
Esquema de la Planta Piloto de vapor	96

Pág.

Conclusiones y recomendaciones 97

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura # 1	44
Figura # 2	47
Figura # 3	49
Figura # 4	52
Figura # 5	54
Figura # 6	60
Figura # 7	63
Figura # 8	66
Figura # 9	67
Figura # 10	69

INDICE DE DIAGRAMAS

	Pág.
Diagrama # 1	80
Diagrama # 2	81
Diagrama # 3	87

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I	101
Tabla II	102
Tabla III	103
Tabla IV	104
Tabla V	105
Tabla VI	106
Tabla VII	107
Tabla VIII	108

INTRODUCCION

Actualmente más del 90% de las Industrias existentes en nuestro país utilizan calderas. Estas Industrias a veces no son dimensionadas y diseñadas tomando en cuenta los requerimientos de vapor de cada equipo, así como de las normas, técnicas y procedimientos necesarios para su diseño, dimensionamiento y selección.

Uno de éstos casos ha sido el de la Planta Piloto de Vapor de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la ESPOL, la cual fue instalada sin realizar los cálculos previos y necesarios para su dimensionamiento y diseño.

El siguiente trabajo de tesis es realizado con el fin de proporcionar a la ESPOL los datos y cálculos necesarios para mejorar la eficiencia de la Planta Piloto de Vapor.

La presente obra está dividida en siete capítulos en los cuales se trata sobre el funcionamiento de cada equipo, selección de la caldera, dimensionamiento del sistema de agua, dimensionamiento del sistema de combustible, selección de controles automáticos de la caldera y equipos,

dimensionamiento de las tuberías de vapor y retorno de condensado, y selección de trampas de vapor.

CAPITULO # 1

1. Funcionamiento y descripción de los equipos

1.1 Descripción y funcionamiento de los equipos existentes en la
Planta Piloto de la Escuela de Tecnología de Alimentos.

1.1.1 Caldera

1.1.2 Autoclaves

1.1.3 Marmitas

1.1.4 Cocinador

1.1.5 Evacuador

1. FUNCIONAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS EXISTENTES

1.1 Descripción y funcionamiento de los equipos existentes en la planta piloto de la Escuela de Tecnología de Alimentos

En la planta piloto de vapor de la Escuela de Tecnología de Alimentos existen los siguientes equipos:

- Una caldera
- Dos autoclaves horizontales
- Una autoclave vertical
- Dos marmitas
- Un cocinador, y,
- Un evacuador ó productor de vacío

1.1.1 Caldera

La Caldera sirve para suministrar vapor a los diferentes equipos existentes en la planta piloto de Tecnología de Alimentos. Esta caldera tiene las siguientes características :

- Marca: Distral

- Modelo: DV 30 - 150
- Tipo: pirotubular vertical
- Superficie de calentamiento: 210 ft²
- Presión de diseño: 150 psi
- Combustible: Diesel - Oil
- Año de construcción: 1993
- Presión de trabajo: 100 psi
- Capacidad: 30 Caballos de Caldera.

La caldera está instalada sobre una losa de hormigón y está sujeta a la misma por medio de pernos de anclaje. La válvula de seguridad se encuentra desprovista de una tubería de desfogue de vapor. Los instrumentos de control de la caldera están constituidos por: un manómetro de 0 a 300 psi y un tubo visor del nivel de agua de la misma.

1.1.2 Autoclaves

Los dos objetivos del tratamiento térmico (esterilización) son: terminar de cocer el pescado contenido en el interior de los envases ó latas, e inactivar todas las bacterias y enzimas que se hallen presentes.

La esterilización es la operación básica al fabricar una conserva, ya que de ella dependerá su inalterabilidad y, en gran medida, su calidad final.

Lamentablemente, si bien este proceso aporta grandes ventajas al producir en un alimento tanto la esterilidad comercial como la inactivación de las enzimas, por otra parte lo altera al modificar sus características físicas-organolépticas. Dichos cambios están en relación directa con la temperatura y el tiempo empleados en el proceso. Es esencial, por lo tanto, aplicar un proceso térmico que se encuentre en un justo término medio, es decir, que además de permitir una esterilización eficaz, modifique lo menos posible las cualidades organolépticas y nutritivas del producto, proporcionándole así mismo un alto grado de calidad.

Para determinar un proceso de esterilización es necesario realizar un estudio de penetración del calor en el producto, precisar la contaminación inicial, conocer la resistencia de las esporas al calor y determinar las características del alimento a envasar y el tipo de envase que se empleará.

Luego mediante métodos matemáticos, es posible establecer exactamente cuál es el proceso necesario para destruir un microorganismo determinado.

En conservas de baja acidez la esterilización se calcula sobre la base de la destrucción total de un número máximo de esporas de CLOSTRIDIUM BOTILIUM. Es necesario tener presente que algunas bacterias termofílicas producen esporas de mayor resistencia que las Clostridium Botilium, por lo cual es importante reducir al mínimo el desarrollo de dichas cepas termorresistentes, empleando bactericidas adecuados en los equipos y manteniendo igualmente un alto grado de higiene en la elaboración, ya que un proceso de esterilización suficiente para destruir éstos microorganismos afectaría notoriamente la textura, el sabor, y el color del producto.

Las temperaturas y los tiempos a los que trabajan las autoclaves son:

Temperatura (°C)	Tiempo (min.)
121	50
117	60

En ésta planta existen 3 autoclaves:

- Dos autoclaves horizontales (mediana y grande)
- Una autoclave vertical (pequeña)

Autoclaves Horizontales

En las autoclaves horizontales el sistema de distribución del vapor consiste en una cañería perforada que se extiende a lo largo de la superficie inferior interna (fondo) de la autoclave. Las perforaciones deben hacerse en la parte superior de la cañería y en forma perpendicular a su eje longitudinal. Para obtener una distribución aún mejor la entrada de vapor al sistema de distribución debe hacerse en la parte media este.

La autoclave horizontal mediana tiene las siguientes características e instrumentos de control:

- $\phi = 1,04$ metros
- Longitud 1,80 metros
- Capacidad 1536 latas ó 32 cajas
- Un manómetro de 0 a 30 psi
- Una válvula de venteo

La autoclave horizontal grande no tenía ningún instrumento de control, las características son las siguientes:

- $\phi = 1,24$ metros
- Longitud 1,68 metros
- Capacidad 2640 latas ó 55 cajas
- Una válvula de venteo

Autoclave Vertical

Para éste tipo de autoclave el sistema de distribución puede tener forma de cruceta o de anillo perforado. Las perforaciones se hacen en la parte superior ó en los costados de la cañería. Esta autoclave tiene las siguientes características e instrumentos de control:

- $\phi = 0,62$ metros
- Longitud 1,10 metros
- Capacidad 30 latas
- Un termómetro de 0 a 150°C
- Un manómetro de 0 a 30 psi ó 0 a 2 Kg/cm²
- Una válvula de venteo

En ambos tipos de autoclave el número de agujeros ó perforaciones en los distribuidores de vapor está determinado por el tamaño de éstos y por el diámetro de entrada del vapor. Como norma general se estima que la suma del área de las perforaciones debe ser igual a 1,5 ó 2 veces el área de la cañería de entrada del vapor. La tabla I puede adaptarse como una guía para hacer dichas perforaciones.

También es importante el número de perforaciones que tengan las canastillas y carros, ya que de ser insuficientes podrían provocar una mala circulación del vapor, originando zonas de bajas temperaturas dentro de la autoclave y causando la subesterilización del producto, con los consiguientes riesgos que ello implica. Cuando se use una canastilla ó carro metálico perforado se recomienda ceñirse a la tabla II .

La forma de colocar los envases en la canastilla debe ser tal que permita la libre circulación de vapor por entre las latas. Si fuera necesario separar dos lotes de envases dentro de la autoclave se recomienda usar una red de pesca u otro material de malla con un ojo de por lo menos 1/2 pulgada. No deben usarse sacos de ningún tipo ni paredes divisorias de

madera, como tampoco cualquier otro material que dificulte la libre circulación del vapor.

1.1.3 Marmitas

Las marmitas son utilizadas para preparar salsas y añadirlas al producto que se esta elaborando.

Existen 2 marmitas en ésta Planta Piloto: una de 25 lts., que está fuera de uso, y otra de 30 lts. con agitador. Los datos de esta última son:

- Marca GROEN
- Presión 50 psi a 300°F
- Min. Design 32°F a 50 psi
- Model TD/2 - 40
- Serie No 18362

El objeto de incorporar salsa al pescado enlatado consiste en modificar el sabor y mejorar el aspecto del producto final.

1.1.4 Cocinador

El cocinador sirve para pre-cocinar el producto que va a ser envasado ó enlatado.

Se hace un pre-cocinado, y no la cocción total del producto, ya que en la práctica los tiempos y temperaturas necesarias para esterilizar el contenido del envase son más que suficientes para efectuar su completa cocción.

El pre-cocinador no posee ningún instrumento de control ya sea de presión ó temperatura. Este tiene las siguientes características: está hecho de planchas de acero de 5 mm. de espesor, tiene 2 m. de largo por 1,3 m. de ancho por 1,3 m. de alto. La tapa va asegurada mediante pernos.

Para efectuar el pre-cocinado del producto, debe alcanzarse una temperatura de 90 a 100 °C (212°F), siendo ésta la temperatura de trabajo del cocinador. Este se carga con el pescado en filetes puestos en canastillas.

1.1.5 Evacuador

Tras el llenado, es fundamental hacer un vacío parcial en el envase, excepto en las latas muy pequeñas. Si no se realiza esta operación, el gas existente, entre el producto y la superficie interna del envase se expandirá, pudiendo causar abombamiento de la lata durante el tratamiento térmico y el subsiguiente enfriamiento: al extraer el oxígeno se contribuye además a prevenir el proceso de oxidación que se podría incrementar durante el almacenamiento. La evacuación que es como se denomina a este proceso, es crítica para el éxito del enlatado y es esencial llevar a cabo la metodología rigurosamente de acuerdo con el tratamiento dado previamente al producto y con el tipo de lata. En general se requiere un vacío parcial más bajo cuando se espera que las latas estén expuestas a temperatura ambiente alta, o a presiones muy bajas. El sellado de la tapa al cuerpo de la lata se realiza después ó durante la evacuación.

La evacuación es una operación necesaria por las siguientes razones:

a.- Eliminar oxígeno que acelera la corrosión en el interior de la lata

- b.- Disminución debido al estiramiento de las latas motivada por la expansión del aire durante el calentamiento.
- c.- Prevenir la oxidación del alimento y su alteración consiguiente
- d.- Mantener el vacío de la lata después del enfriamiento.
- e.- Preservación del contenido de vitamina C

El funcionamiento es el siguiente: Después del envasado sobre el cuerpo del bote se coloca la tapa de modo que permita el libre flujo de los gases y vapores hacia el exterior del bote. Bote y contenido se calientan a continuación haciéndolos pasar a través de una cámara de vapor. El diseño de las cámaras de vapor puede variar algo, pero básicamente consisten en una caja larga bien aislada que se calienta con vapor, manteniendo una temperatura de 93 a 98 °C, la cámara de la Planta Piloto tiene las siguientes dimensiones: 4,88 m. de largo por 0,26 m. de ancho por 0,21 m. de alto.

Una vez colocados sobre un transportador, los botes pasan a través de la cámara en la que normalmente reciben chorros de vapor. Los botes permanecen en la cámara un tiempo determinado, el cual es dependiente

de la velocidad del transportador (banda). Para conseguir un vacío de 20 cm. de Hg corrientemente se requiere que las latas permanezcan en la cámara de 20 a 30 minutos. Una vez producido el vacío, esto es cuando la lata sale del túnel, se procede a cerrarla.

Cabe hacer notar que todos los equipos, excepto la caldera y la marmita de 30lts. , fueron manufacturados en la ESPOL. Otra acotación importante es que la tubería de suministro de vapor a la Planta Piloto fue encontrada sin los soportes necesarios y sin el aislamiento correspondiente, y además esta Planta Piloto carece de tuberías de retorno de condensado y de trampas de vapor.

CAPITULO # 2

2. Selección de Caldera

2.1 Introducción

2.2 Clasificación de las calderas

2.3 Factores que intervienen en la selección de calderas

2.4 Balance térmico de cada equipo

2. SELECCIÓN DE LA CALDERA

2.1 Introducción

Teniendo las calderas una vida útil estimada en 25 años es necesario hacer un análisis de los diferentes factores que se deben considerar para efectuar una correcta selección de las mismas.

El principal factor que debe tomarse en cuenta para la selección de la caldera es la demanda de vapor que se necesita, para determinar la capacidad de generación de vapor correspondiente a su demanda.

Es de mucha importancia tener en cuenta éste factor, ya que si seleccionamos una caldera con capacidad excesivamente grande con respecto a su demanda esta alternativa sería antieconómica. Por otra parte, si seleccionamos una caldera de menor capacidad que la requerida, se nos presentaría el problema que nunca se llegaría a cubrir la demanda necesaria.

Otro factor importante es la presión de vapor que se requiera para utilizarla en un proceso térmico determinado.

2.2 Clasificación de las calderas

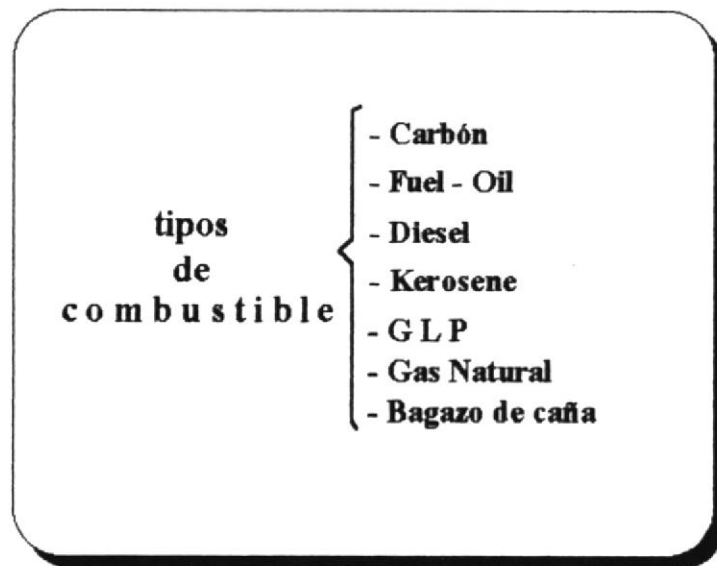
Al hacer la clasificación de las calderas, se trata de establecer las principales características de los diversos tipos de instalaciones que se necesitan para obtener vapor.

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

- Por la energía consumida
 - Por la disponibilidad de los tubos
 - Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua
 - Por los métodos de circulación de agua
 - Por la presión de trabajo
 - Por el número de pasos ó retornos
 - Por la disposición de los tubos
 - Por la posición de las calderas.
-
- **Por la energía consumida.**- De acuerdo a ésta clasificación se tiene :
 - Energía calorífica
 - Energía Eléctrica

- Energía química

Por energía química se entiende al combustible (como elemento químico) que quemaría una caldera para generar vapor y según el tipo de combustible, la clasificación sería la siguiente:

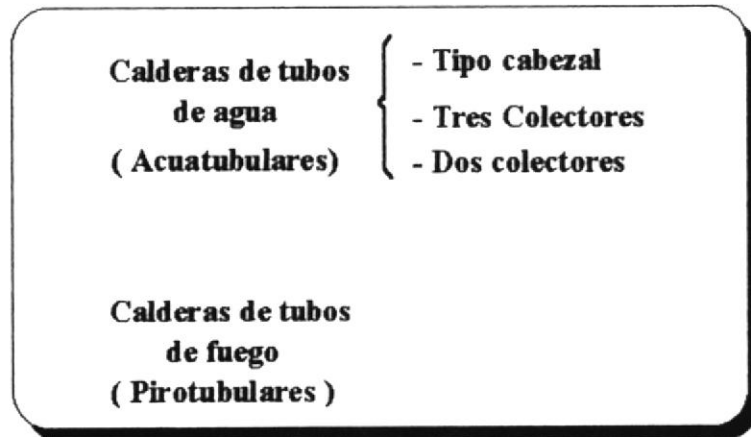


- **Por la disponibilidad de los tubos.**- En ésta clasificación se encuentran las calderas:

- Con tubos , y ;

- Sin tubos.

- **Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua.**- De acuerdo a ésta clasificación las calderas pueden ser:



La principal diferencia entre éstos tres tipos de calderas de tubos de agua es:

- a.- El número y colocación de los colectores y tubos que contienen el agua y vapor
- b.- El tamaño de los tubos; y
- c.- Su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal.

- **Por el tipo de circulación de agua.-** De acuerdo a ésta clasificación las calderas pueden ser :

- Circulación Natural

- Circulación Libre
- Circulación Acelerada
- Circulación Forzada *
- Recirculación Forzada *¹

- **Por la presión de trabajo.**- Estas pueden ser:

Calderas de alta presión ($> 20 \text{ Kg/cm}^2$ Plantas Eléctricas; Acuatubulares)

Calderas de baja presión (7 a 10 Kg/cm^2) Piro-tubulares.

- **Por el número de pasos.**- De acuerdo a éste criterio las calderas pueden ser :

- Un paso
- Dos pasos
- Tres pasos
- Cuatro pasos

Entiéndase por pasos, la pasada de gas proveniente del hogar hacia el sitio alrededor de los tubos de agua (calderas acuatubulares) o la

¹ Se efectúa por medio de bombas

pasada de gas a través de los tubos de fuego en cada cambio de dirección de flujo (calderas pirotubulares).

- **Por la disposición de los tubos.**- De acuerdo a éste criterio pueden ser:

- De tubos rectos
- De tubos inclinados, y,
- De tubos curvos.

- **Por la posición de las calderas.**- Estas pueden ser:

- Verticales , y,
- Horizontales

2.3 Factores que intervienen en la selección de calderas

Además de la capacidad en Caballos de Caldera ó Kg/h y de la presión de trabajo, los factores que se consideran para seleccionar una caldera son:

- El agua de alimentación disponible.- El agua influye directamente en la duración y buen funcionamiento de la caldera.
- El tiempo de operación diaria de la caldera.- Este factor influye en la cantidad de vapor que se requiera, así como en la elección del combustible a usar.
- Tipo de caldera a usar.- Las calderas pirotubulares pueden ser usadas hasta presiones de 250 Lb/pulg² y hasta capacidades de 25000 lb/h de producción de vapor.
- Número de unidades.- El usar dos ó más calderas de la misma capacidad nos da las ventajas de disponer de flexibilidad con respecto al mantenimiento y poder contar con una caldera como mínimo en cualquier momento crítico.
- La selección del combustible.- Entre los combustibles que puede usar una caldera tenemos: carbón, LPG gas licuado de petróleo, diesel oil, kerosene y petróleo pesado ó Bunker No. 6.

De todos éstos combustibles el más usado es el diesel-oil, ya que es un combustible relativamente limpio, fácil de almacenar y no requiere de gran cantidad de equipo para su manipulación.

Hoy en día el precio del galón del diesel-oil es muy elevado, por lo cual se están realizando cambios en los sistemas de combustible de las calderas para cambiarlos de diesel-oil a Bunker no. 6. Estos cambios se los explicarán en el capítulo que concierne al combustible.

2.4 Balance térmico de cada equipo.

El balance térmico consiste en la determinación de las cargas caloríficas expresadas en unidades de potencia Kcal/h ó Caballos de Caldera a utilizarse en un proceso industrial.

El procedimiento a seguir es el siguiente :

- Los equipos serán considerados perfectamente aislados, luego por regla general (Libro Calderas Industriales y Marinas por Ing. Angel Vargas Z. página 139) se puede estimar las pérdidas por radiación y convección como el 20% de la carga térmica de cada equipo cuando éstos no poseen ningún aislamiento térmico.

- Se considerará que el calor que absorben los carritos, es despreciable en comparación con el calor que absorbe el pescado, por lo tanto se lo despreciará; y al final del cálculo de la carga calorífica se añadirá el 1% de la carga calorífica del equipo.
- Para el cálculo de la carga calorífica se considerará el vapor saturado, puesto que al vapor recalentado se lo emplea solamente para utilizar su energía cinética y en nuestro caso solamente requerimos energía térmica.
- Se escogerá al pescado como producto de elaboración, ya que éste es el que más demora en su cocción y envasado con respecto a otros productos que se podrían procesar en la Planta Piloto de la Escuela de Tecnología de Alimentos.

CARGA CALORÍFICA

COCINADOR

Por datos obtenidos, en éste equipo se pre-cocinan 1000 Kg. de pescado a 100°C y durante 90 min.

$m = \text{masa de pescado/tiempo} = 1000 \text{ Kg.}$

$C_p = \text{Calor específico del pescado} = 0,98 \text{Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$

$T_v = \text{Temp. del medio (vapor)} = 100^\circ\text{C}$

$T_p = \text{Temp. del pescado.} = 20^\circ\text{C}$

tiempo = 90 min.

$$Q_{co} = m C_p \Delta T$$

$$Q_{co} = m C_p (T_v - T_p)$$

$$m = 1000 / 90 \text{ Kg/min}$$

$$m = 11,11 \text{ Kg/min} = 666,7 \text{ Kg. / h}$$

$$m = 666,67 \text{ Kg. / h}$$

$$Q_{co} = 666,7 \times 0,98 \times (100 - 20) \text{ Kg/h} \times \text{Kcal/Kg}^\circ\text{C} \times ^\circ\text{C}$$

$$Q_{co} = 52267 \text{ Kcal/h}$$

Por recomendación dada al comienzo:

$$20\% \text{ pérdidas rad. y conv.} = 10453,4 \text{ Kcal/h}$$

$$1\% \text{ pérdidas por canastillas y carrito} = 522,67 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{coT} = 52267 + 10453,4 + 522,67 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{coT} = 63243,07 \text{ Kcal/h}$$

AUTOCLAVES

Autoclave horizontal grande: Datos:

Entran 55 cajas y cada caja tiene 48 latas.

Cada lata pesa 200 gr.

T_{est} = Temp. de esterilización = 117 °C

T_1 = Temperatura de las latas = 22°C

Tiempo de esterilización = 60 min. = 1 h

C_p = 0,98 Kcal/Kg°C

$$Q_{ah} = m C_p \Delta T$$

$$m = 55 \frac{\text{cajas}}{\text{h}} \times 48 \frac{\text{latas}}{\text{caja}} \times 200 \frac{\text{gr.}}{\text{lata}} \times \frac{1 \text{ Kg.}}{1000 \text{ gr.}} = 528 \text{ Kg. / h}$$

$$m = 528 \text{ Kg/h}$$

$$Q_{ah} = 528 \times 0,98 \times (117 - 22) \text{ Kg/h} \times \text{Kcal/Kg}^\circ\text{C} \times ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ah} = 49156,8 \text{ Kcal / h}$$

Por recomendación:

$$20\% \text{ pérdidas rad. y conv.} = 9831,36 \text{ Kcal/h}$$

$$1\% \text{ pérdidas por canastillas y carrito} = 491,568 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{ahT} = 49156,8 + 9831,36 + 491,568 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{ahT} = 59479,73 \text{ Kcal/h}$$

El mismo procedimiento se hace para las dos autoclaves restantes:

$$m_{ahm} = \frac{32 \text{ cajas}}{\text{h}} \times \frac{48 \text{ latas}}{\text{caja}} \times \frac{200 \text{ gr.}}{\text{lata}} \times \frac{1 \text{ Kg.}}{1000 \text{ gr.}} = 307,2 \text{ Kg. / h}$$

$$m_{av} = \frac{48 \text{ latas}}{\text{lata}} \times \frac{200 \text{ gr.}}{1000 \text{ gr.}} \times \frac{1 \text{ Kg.}}{1000 \text{ gr.}} = 6 \text{ Kg. / h}$$

$$Q_{ahm} = 307,2 \times 0,98 \times (117 - 22) \text{ Kg/h} \times \text{Kcal/Kg}^\circ\text{C} \times ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ahm} = 28600,32 \text{ Kcal/h}$$

Por recomendación:

$$20\% \text{ pérdidas rad. y conv.} = 5720,06 \text{ Kcal/h}$$

$$1\% \text{ pérdidas por canastillas y carrito} = 286 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{ahmT} = 34606,4 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{av} = 6 \times 0,98 \times (117 - 22) \text{ Kg/h} \times \text{Kcal/Kg}^\circ\text{C} \times ^\circ\text{C}$$

$$Q_{av} = 558,6 \text{ Kcal/h}$$

Por recomendación:

$$20\% \text{ pérdidas rad. y conv.} = 111,72 \text{ Kcal/h}$$

$$1\% \text{ pérdidas por canastillas y carrito} = 5,586 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{\text{avT}} = 675,906 \text{ Kcal/h}$$

MARMITAS

$$20 \text{ lts} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} = 0,020 \text{ m}^3$$

$$30 \text{ lts} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} = 0,03 \text{ m}^3$$

La densidad de la salsa es aproximadamente igual a la del agua ó sea 1000

Kg/m^3

$$0,03 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ Kg/m}^3 = 30 \text{ Kg.}$$

Calor específico del agua 1 Kcal/Kg°C

$$30 \text{ Kg.} \times 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} = 30 \text{ Kcal/}^\circ\text{C}$$

Como la salsa tiene que hervir, entonces la temperatura a la que lo hace es 100°C y la temperatura a la que empieza es 20°C en 8 min.²

$$q = 30 \times \frac{(100 - 20)}{0,133 \text{ h}} \text{ Kcal/}^\circ\text{C} \times ^\circ\text{C}$$

$$q = 18000,5 \text{ Kcal / h}$$

Lo mismo para la otra marmita

$$q = 20 \times \frac{(100 - 20)}{0,133 \text{ h}} \text{ Kcal/}^\circ\text{C} \times ^\circ\text{C}$$

$$q = 12000,3 \text{ Kcal / h}$$

Por recomendación :

$$20\% \text{ pérdidas rad. y } \varphi_{\text{conv.}} = 3600,1 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{301} = 21600,6 \text{ Kcal/h}$$

Por recomendación :

$$20\% \text{ pérdidas rad. y conv.} = 2400,06 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{201} = 14400,36 \text{ Kcal/h}$$

² Estos datos son experimentales y fueron obtenidos en la misma Escuela de Tecnología de Alimentos.

EVACUADOR

Volumen de vapor = $4,88 \times 0,21 \times 0,26 \text{ m}^3$

$$v = 0,266 \text{ m}^3$$

tiempo que permanecen las latas en la cámara = 30 min. = 0,5 h.

$$0,266 \times 1/0,5\text{h} = 0,533 \text{ m}^3/\text{h}$$

* Volumen específico del vapor saturado a $95^\circ\text{C} = 1,982 \text{ m}^3/\text{Kg}$

$$0,533 \text{ m}^3/\text{h} \times 1/1,982 \text{ m}^3/\text{Kg} = 0,2689 \text{ Kg. / h}$$

Calor de vaporización del agua (vapor) = 539 Kcal/Kg

$$0,2689 \text{ Kg. / h} \times 539 \text{ Kcal/Kg} = 144,94 \text{ Kcal/ h}$$

Por recomendación:

$$20\% \text{ pérdidas rad. y conv.} = 28,987 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{e,T} = 173,93 \text{ Kcal/h}$$

CONSUMO TOTAL DE VAPOR

$$63243,07 + 59479,73 + 34606,4 + 675,91 + 21600,6 + 14400,36 + 173,93 =$$

$$194180 \text{ Kcal/h} \times 4,02 \text{ BTU/h /Kcal/h} = 781943,2 \text{ BTU/h}$$

Que en Caballos de Caldera es 25 CC.

$$73.537 \text{ lb}^3/\text{lb} \rightarrow 16.07 \text{ kg}/\text{m}^3 \rightarrow 11$$

$$\text{lb}^3/\text{lb} \rightarrow 0,0624 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 11 \text{ P.}$$

$$73.537 \text{ lb}^3 \times \text{m}^3 \rightarrow V_0 = 4.508 \text{ m}^3/\text{h}$$

CALDERA A SELECCIONARSE

De acuerdo a los resultados obtenidos y a lo expuesto anteriormente seleccionaremos nuestra caldera así:

- Por la energía consumida: Nuestra caldera será operada con energía química, la cual quemará combustible Bunker No. 6
- Por la disponibilidad de los tubos: Esta caldera sí tendrá tubos
- Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua: será pirotubular
- Por los métodos de circulación de agua: será de circulación forzada.
- Por la presión de trabajo: será de baja presión (125 psi.)
- Por el número de pasos ó retornos: será de 4 pasos
- Por la disposición de los tubos: será de tubos rectos
- Por la posición de la caldera: será del tipo horizontal (facilidad de mantenimiento)
- De acuerdo al consumo de vapor necesitamos una caldera con una capacidad de 25 CC.; pero, seleccionaremos una caldera de mayor capacidad por las siguientes razones:

En el mercado tenemos las calderas de acuerdo a lo que dice la tabla III (Catálogo de la Cleaver Brooks), entonces seleccionamos la que tenga las características parecidas a la que necesitamos, y ésta es de 30 CC ó BHP (D-230), cuyas características están dadas en esta tabla, y la otra razón es por si alguna vez se requiera instalar algún otro equipo en la Planta Piloto, ya no sería necesario cambiar ó adaptar otra caldera al sistema.

CAPITULO # 3

3. Sistema de agua de alimentación

3.1 Introducción

3.2 Dimensionamiento del tanque de agua de alimentación

3.3 Criterios de selección de las bombas de agua de alimentación

3.4 Selección de la bomba

3. SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

3.1 Introducción

El 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 constante de vapor.

El sistema de agua de alimentación de nuestra caldera estará compuesto por los siguientes elementos :

- tanque (s) de almacenamiento
- equipo de bombeo; y,
- equipo de control.

Los tanques de almacenamiento pueden ser: de agua de alimentación o de condensado al mismo tiempo, en nuestro caso el tanque hará ambas funciones.

El equipo de control está compuesto por: las válvulas de regulación del agua de alimentación y los dispositivos de control.

3.2 Dimensionamiento del tanque de agua de alimentación

Como la generación de vapor en una caldera depende directamente de la cantidad de agua que se suministra a ésta, 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.

Para determinar la capacidad del tanque de agua de almacenamiento utilizamos la fórmula descrita en el libro Calderas Industriales y Marinas por Ing. Angel Vargas Z. página 147.

$$CC \times 0,261 \text{lt/min} \times 20 \text{ min.}$$

Donde:

CC = Caballos de Caldera

0,261 lt/min = cantidad necesaria de agua para satisfacer la demanda de 1 CC.

20 min. = tiempo para sostener la evaporación en la caldera.

Entonces para nuestro caso:

$$300 \quad 1566 \text{ Lt}$$

$$30 \text{ CC} \times 0,261 \text{lt/min} \times 20 \text{ min.} = 156,6 \text{ lts.}$$

Por otra parte, el tanque de almacenamiento del agua de alimentación no deberá nunca estar 100% lleno, sino que es recomendable que éste se encuentre siempre solamente con un nivel de agua que cubra el 70% de la capacidad del tanque.

De acuerdo a esto, tenemos:

$$\text{Reserva mínima de agua} = \frac{\text{Capacidad}}{0,7}$$

$$\text{Reserva mínima de agua} = \frac{156,6}{0,7} = 223,7 \text{ lts}$$

$$\text{Reserva mínima de agua} = 223,7 \text{ lts.}$$

Entonces el tanque de agua de alimentación debe tener una capacidad de 223,7 lts.

Las dimensiones de nuestro tanque de acuerdo a la capacidad determinada precedentemente será de: 60 cm. de largo por 60 cm. de ancho por 63 cm. de alto. La razón de que tenga esta forma es por ahorro de material y para su fácil construcción.

El tanque estará provisto de una tapa registro para tener acceso para su limpieza, y de un venteo para compensar los problemas de:

- Dilatación

- Contracciones; y ,
- Choques térmicos

3.3 Criterios de selección de las bombas de agua de alimentación

Los criterios de selección de una bomba de agua de alimentación para calderas son:

- Operación de la bomba (continua ó intermitente)
 - Temperatura del agua a la succión
 - Capacidad
 - Presión de descarga
 - Carga neta de succión positiva requerida
- **Operación continua ó intermitente** .- En la mayor parte de los casos de las bombas destinadas a las calderas pirotubulares la operación es intermitente, que será el tipo de operación de nuestro sistema; esto se debe a que este tipo de calderas trabajan generalmente con un flotador sobre el cual actúa un switch; éste hace que el motor que impulsa la

bomba pare ó arranque entre cierto nivel. En este caso la tubería de descarga de la tubería de alimentación debe dirigirse directamente a la caldera sin restricciones en esta línea.

De acuerdo a la tabla IV seleccionamos la capacidad de la bomba en función de la capacidad de la caldera (Caballos de Caldera).

- **Temperatura del agua a la succión.**- Este parámetro tiene importancia partiendo de la premisa que las bombas estándar se encuentran disponibles con rangos de temperaturas entre aproximadamente 100°C (212°F) a 104°C (220°F), el cual será nuestro caso.

- **Capacidad.**- Eso es el caudal que una bomba puede proveer, pero siempre dependiendo también de la presión de descarga y de la carga neta de succión requerida. Los dos tipos de bombas usadas para el agua de alimentación de calderas son: tipo turbina y tipo centrífuga.

Para nuestro caso hemos seleccionado una bomba tipo ^{centrífuga} para una capacidad de 1,5 a 2,0 veces la capacidad de evaporación de la caldera puesto que este tipo de bomba es la recomendada para operación

intermitente, que es lo que se requiere para la caldera pirotubular que hemos seleccionado en el capítulo # 2.

- **Presión de descarga.**- La selección de la presión de descarga en bombas tipo turbina es menos crítica que en bombas centrifugas; sin embargo, se debe asegurar que la presión de descarga seleccionada sea siempre mayor que la presión de operación de la caldera. Un valor de 0,35 a 1,76 Kg/cm² (5 a 25 lb/pulg²) por encima de la presión de operación de la caldera sería un valor razonable a adoptar.

Conforme a la tabla V podemos seleccionar la bomba que necesitamos de acuerdo a la presión de operación de la caldera, realizando una extrapolación.

- **La carga neta de succión positiva.**- Es la altura total absoluta de succión en cm. ó pies corregida al eje impulsor, menos la presión de vapor del líquido en cm. ó pies absolutos. En realidad es un análisis de las condiciones de succión de la bomba, para saber si el agua se vaporizará o no en el punto de menor presión de la bomba.

3.4 Selección de la bomba

Con todo lo expuesto anteriormente y tomando en consideración las recomendaciones escritas, seleccionaremos la bomba de la siguiente manera:

- De conformidad con la tabla 4 y tomando en cuenta que la capacidad de nuestra caldera es de ¹⁵⁰30 CC seleccionamos los galones por minuto que tendrá que movilizar la bomba, esto es ^{10,4}2,07 GPM³. Sus demás características conforme hemos analizado serán:
- Tipo turbina
- Funcionamiento intermitente
- Presión de descarga ⁵⁰170 psi.

Conforme a lo analizado precedentemente nuestra bomba deberá tener las siguientes características:

La bomba debe ser del tipo turbina, que trabaje intermitentemente, que sea capaz de movilizar ^{10,4}2,07 GPM y que tenga una presión de descarga de ²⁵170 psi.

³ GPM = Galones americanos por minuto

La potencia del motor que impulsará nuestra bomba será calculado con la fórmula que aparece en el Libro Calderas Industriales y Marinas página 282

$$HP = \frac{8,33 G \cdot TDH \cdot ge}{33000 \cdot \eta}$$

$$G = 2,07 \text{ GPM}$$

$$TDH = 170 \text{ pies} \times 2,31 \frac{\text{pies H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} = 392,7 \text{ pies de H}_2\text{O}$$

$$ge = ge_{\text{agua}} = 1$$

$$\eta = 0,75$$

$$HP = \frac{8,33 \times 2,07 \times 392,7 \times 1}{33000 \times 0,75} = 1,00 \text{ HP}$$

$$HP = 0,274 \text{ HP}$$

Como en el mercado no existen bombas de éste caballaje, se

selecciona la que está mas próxima y es de 1/3 HP.

$$17,3 \text{ GPM} = G$$

$$TDH = 130 \text{ pies} \times 2,31 = 300,3$$

$$HP = \frac{8,33 (17,3) (300,3) \times 1}{33000 (0,75)} = 1,74$$

$$HP = 1,74 \text{ HP}$$

CAPITULO # 4

4. Sistema de combustible

4.1 Tipos de combustible que puede quemar una caldera

4.2 Componentes del sistema de combustible

4.3 Dimensionamiento del tanque de combustible

4.4 Cálculo de la potencia del motor de la bomba

4. SISTEMA DE COMBUSTIBLE

4.1 Tipos de combustible que puede quemar una caldera

Los diferentes tipos de combustible que puede quemar una caldera son:

- Carbón
- Gas
- Kerosene
- Diesel Oil
- Fuel Oil *(Bunker No. 6)*
- Bagazo de caña⁴

El diesel oil, es usado en casi todas las calderas industriales, pero con el aumento el precio de éste combustible, los industriales han optado por cambiar el sistema de combustible de sus calderas de diesel oil a Bunker No. 6 ya que éste último es un combustible relativamente barato.

Nuestra caldera funcionará con Bunker No. 6 como combustible a quemar.

⁴ El bagazo de caña de azúcar es usado en calderas que operan en los Ingenios azucareros

Los inconvenientes que presenta el Bunker No. 6 es que no es un combustible muy limpio, y además es muy pesado (viscoso). Este problema se soluciona calentándolo para bajar su viscosidad poniendo precalentadores, uno en el tanque de combustible de uso diario, y otro antes que éste ingrese al quemador. En este último precalentador, la temperatura del Bunker debe estar aproximadamente a 100°C.

De acuerdo al diagrama Temperatura vs. Viscosidad, Figura # 1, tendremos que la viscosidad del combustible antes de ingresar al quemador será de aproximadamente de 100 segundos Saybolt.

4.2 Componentes del sistema de combustible

Los componentes de un sistema de combustible son:

- Tanques y tuberías de combustible
- Bombas de alimentación y de trasiego
- Quemadores
- Accesorios
- Separadores (purificadores) de combustible.

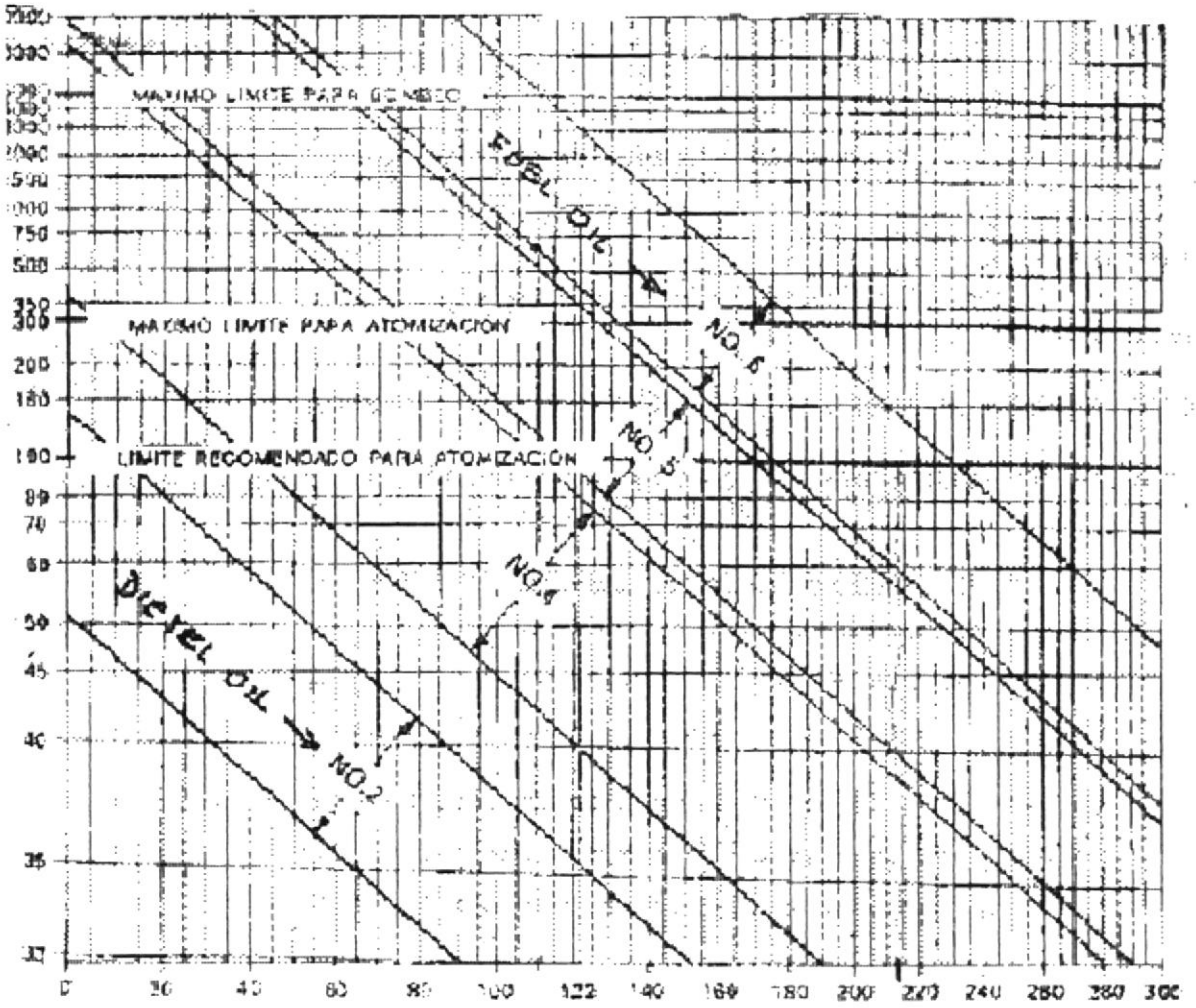
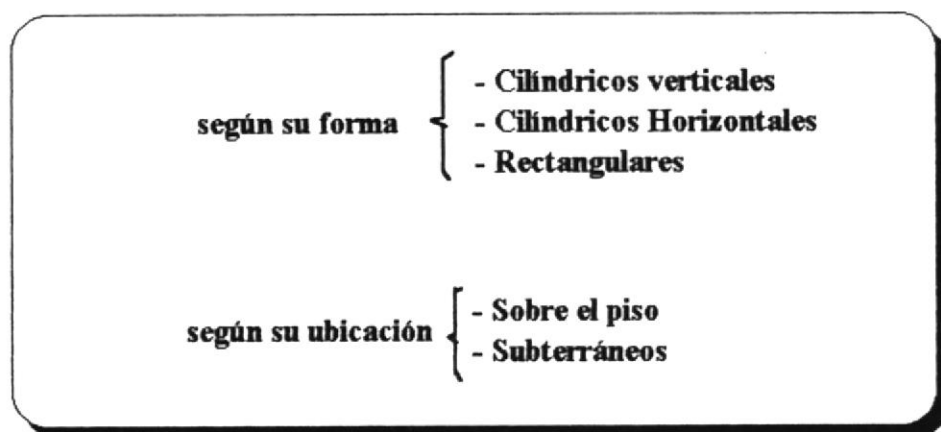


Figura # 1.- Diagrama vs. Viscosidad

Tanques de Combustible

Los tanques de combustible pueden clasificarse:



El material de construcción de los tanques debe ser siempre de acero y nunca de hierro galvanizado.

Cuando los tanques están instalados a una altura superior a la que se encuentran los quemadores de las calderas, se los denominan tanques de gravedad.

El número de tanques y su capacidad, dependerá del consumo de combustible de la caldera y del número de calderas que existan en la planta.

El tanque de servicio diario deberá tener como mínimo una capacidad de almacenamiento tal que el combustible pueda durar 24 horas de operación de la(s) caldera(s).

El ó los tanque(s) de reserva debe(n) tener como mínimo una capacidad de almacenamiento de tal magnitud que el combustible pueda durar de 15 a 30 días de tiempo de funcionamiento de la(s) caldera(s).

En la tabla VI tenemos la capacidad mínima de almacenamiento con respecto a los Caballos de Caldera (CC).

En la figura # 2 tenemos un arreglo ó disposición de la alimentación de combustible desde el tanque de servicio diario.

Nuestro tanque de combustible según su forma será cilíndrico horizontal, y según su ubicación, será sobre el piso; con la finalidad de poder detectar algún escape ó derrame de combustible.

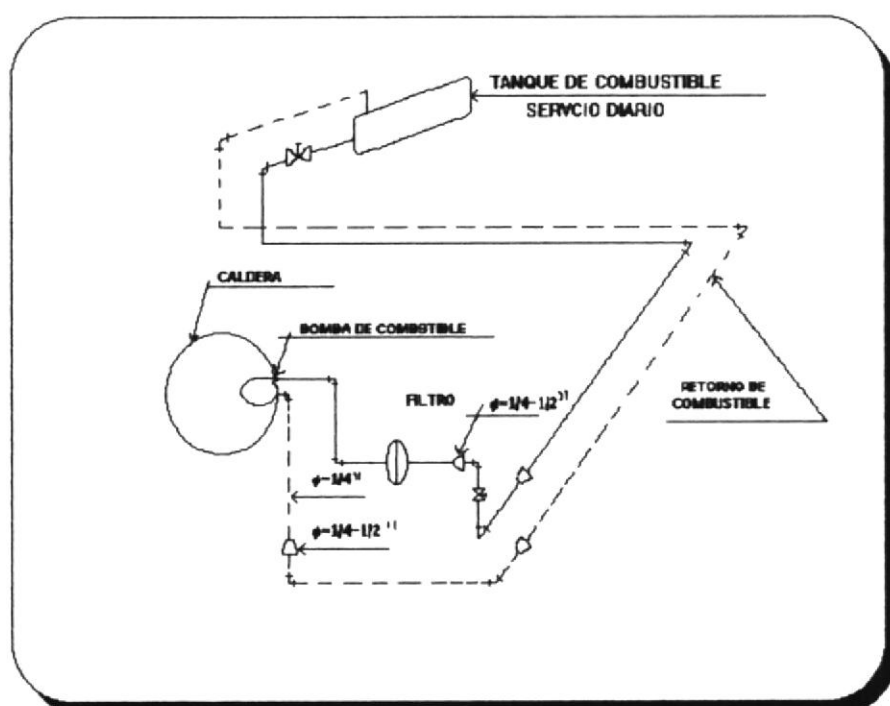


Figura # 2.- Sistema de Alimentación de Combustible hacia la caldera

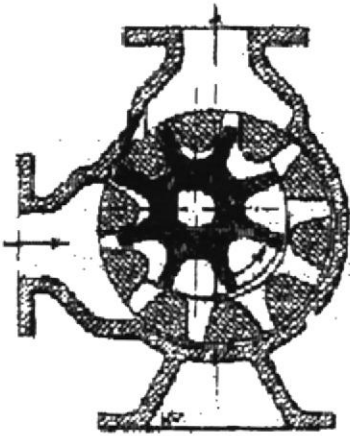
BOMBAS

Las bombas de combustible son del tipo de desplazamiento positivo, rotativas y de engranajes.

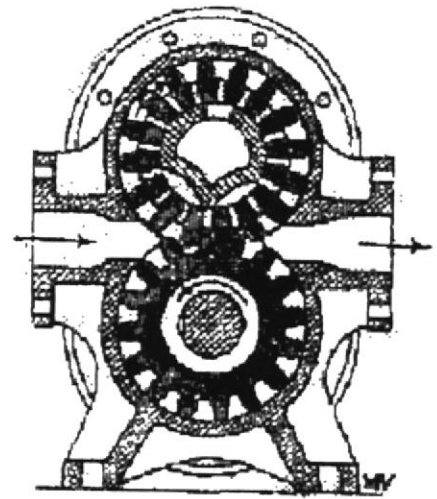
En la figura # 3 tenemos los diferentes tipos de bombas de engranajes

Toda bomba tiene como características principales:

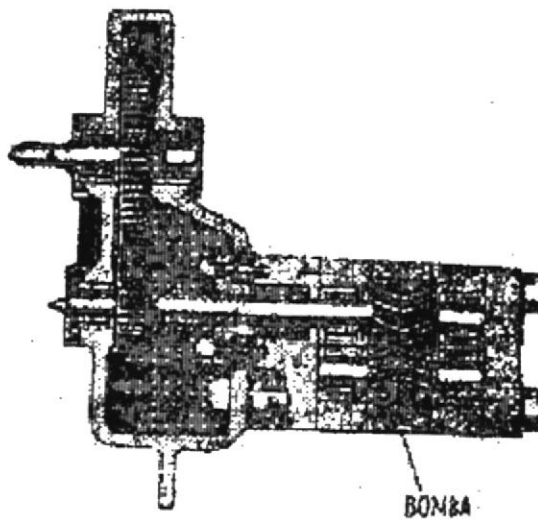
- a) Su cabezal ó altura total de descarga ; y ,
 - b) Su caudal volumétrico.
- Para el caso de Fuel oil (combustible pesado), la altura de la bomba no debe exceder de 17 pulgadas de Mercurio, sea que la bomba esté o no integrada a la caldera.
 - La presión de descarga de la bomba para fuel oil puede fluctuar de 75 a 100 lb/pulg² dependiendo del arreglo de las tuberías del sistema de combustible.
 - En lo referente al caudal (GPH) ó (GPM) de la bomba éste dependerá de los Caballos de Caldera pudiendo éste ser desde 30 hasta 400 GPH, por supuesto para el caso de calderas que utilicen diesel oil como combustible.



Bomba de engranajes del tipo de engranaje interno para baja presión.



Bomba de engranajes del tipo de eje externo.



Bomba de engranajes rotos en V

Figura # 3 .- Tipos de bombas

Para saber la potencia necesaria para impulsar la bomba de combustible se puede hacer uso de la siguiente relación:

$$HP = \frac{8,33 G \cdot TDH \cdot ge}{33000 \cdot \eta}$$

Donde:

HP = Caballos de Potencia

G = Caudal en galones americanos por minuto GPM

TDH = Cabezal de presión de descarga

ge = gravedad específica del combustible

η = eficiencia de la bomba

Quemadores de combustible

La atomización del combustible tiene por objeto dividirlo en partículas extremadamente finas para asegurar un mejor contacto con el oxígeno comburente.

La función principal de la atomización es la de hacer que la mezcla aire-combustible sea lo más homogénea posible de tal forma que la proporción de éstos dos elementos suministre el máximo de eficiencia térmica.

La atomización en el quemador se puede efectuar de dos formas:

- Por la acción de un fluido auxiliar bajo presión animada a gran velocidad , aire comprimido ó vapor.
- Por la acción mecánica.

La atomización por medio de un fluido auxiliar se utiliza principalmente para el caso de calderas que queman fuel oil (Bunker No. 6), la división del Fuel oil se hace por erosión, es así que los filetes del fluido motor (aire o vapor) separan y arrastran las partículas de fuel oil a medida que éstas se presentan en el orificio de salida.

Existen dos clases de aire que se usan en las calderas:

Aire primario, es el que se introduce para la atomización; y ,
aire secundario, que es el que introduce para la combustión.

La atomización en el quemador se la efectuará por medio de la acción de un fluido auxiliar bajo presión animada a gran velocidad con aire.

En la Figura # 4 se muestra un quemador con sus componentes.

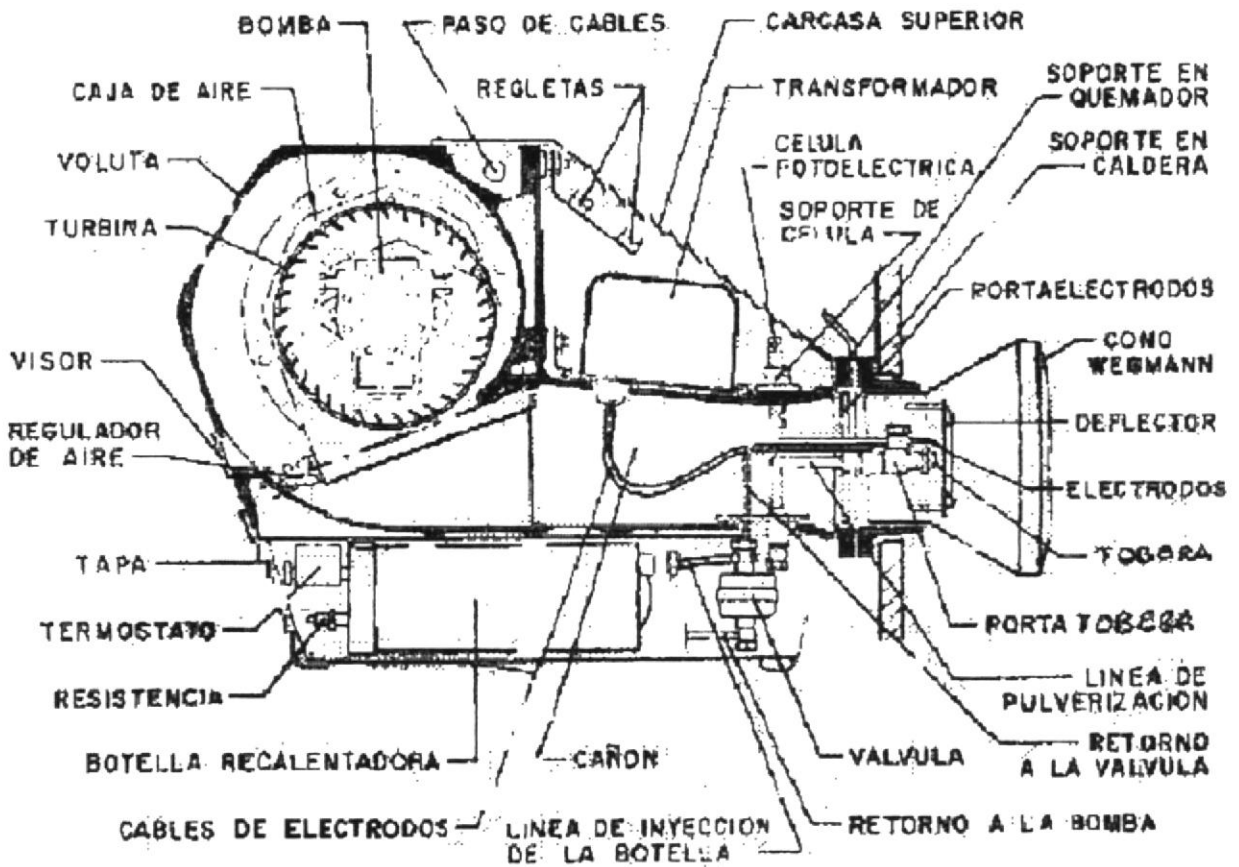


Figura # 4.- Quemador " Inconsa " con sus componentes

4.3 Dimensionamiento del tanque de combustible

En la figura # 5 tenemos un esquema detallado incluyendo dimensiones de tanques de combustible para diesel oil (parte superior) y para fuel oil o combustible pesado (parte inferior). Aquí están incluidas las cotas de diámetro y longitud así como dimensiones de las tuberías de retorno de combustible, del tubo de llenado, del tubo de venteo del agujero de la tapa registro, etc.

De acuerdo a la tabla VI dimensionamos el tanque de combustible. Como nuestra demanda de vapor es de 30 CC. a ésta le corresponde un tanque de almacenamiento cuya capacidad es de 1500 litros ó 396,3 galones americanos.

Handwritten note: 1500 galones

Con éste dato nos vamos a la figura # 5 en la pequeña tabla, y sacamos las dimensiones para 1500 lts.

D	L	Calibre
mm.	mm.	lámina
870	2440	14 ⁵

Calculamos el tanque de reserva para que éste nos almacene una cantidad de combustible tal que nos dure 30 días de funcionamiento de la caldera

$$1500\text{lts}/\text{día} \times 30 \text{ días} = 45000\text{lts. Entonces } \phi = 3,5 \text{ mt. } L = 5 \text{ mt.}$$

Handwritten note: 3,5 mt. L = 5 mt.

⁵ Calibre 14 = 1,945 mm

4.4 Cálculo de la potencia del motor de la bomba

Para calcular la potencia necesaria para impulsar la bomba de combustible, usaremos la relación dada anteriormente y que se encuentra en libro Calderas Industriales y Marinas página 182.

$$HP = \frac{8,33 G \cdot TDH \cdot \rho}{33000 \cdot \eta}$$

G = caudal en galones americanos por minuto

Para sacar los galones por minuto utilizaremos la expresión dada en el libro antes mencionado página 164²⁸⁹

Para fuel oil 0,275 GPH/CC

$$GPH = 0,275 \text{ GPH/CC} \times 30 \text{ CC} = 8,25 \text{ GPH} = 0,1375 \text{ GPM}$$

TDH = Cabezal de presión de descarga

Por recomendación del libro ya mencionado página 182, cuarto párrafo, la presión de descarga puede fluctuar de 75 a 100 lb/pulg²

Para nuestro caso usaremos 100 lb/pulg²

$$100 \text{ lb/pulg}^2 \times \frac{2,31 \text{ pies H}_2\text{O}}{1 \text{ lb/pulg}^2} = 231 \text{ pies de H}_2\text{O}$$

$$g_e = \text{fuel oil} = 0,9535$$

$$\eta = \text{eficiencia de la bomba} = 0,6$$

$$\text{HP} = \frac{8,33 \times 0,1375 \times 231 \times 0,9535}{33000 \times 0,6}$$

$$\text{HP} = 0,0127 \text{ HP}$$

Se necesita un motor de poca potencia y como en el mercado no existen motores de el caballaje que necesitamos, seleccionamos el que tenga la menor potencia y es de 1/4 de HP.

CAPITULO # 5

5. Controles de calderas

5.1 Generalidades

5.2 Control de la combustión

5.3 Control de nivel

5.4 Seguridad de llama

5.5 Programadores

5.6 Presostatos

5.7 Termostatos

5.8 Aparatos de control que tendrá la Planta Piloto

5. CONTROLES DE LA CALDERA

5.1 Generalidades

Los controles automáticos de las calderas tienen dos funciones básicas:

- Regulación; y ,
- Seguridad (protección)

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

Siempre es necesario que una caldera mantenga una presión de trabajo constante para la gran diversidad de caudales de consumo, por lo cual debe ser capaz de:

- a) Aportar una energía calorífica suficiente a través de la combustión del Bunker No. 6 (Fuel-oil) con el aire.
- b) Desde el punto de vista de seguridad, el nivel debe estar controlado y mantenido dentro de unos límites; y por último,
- c) Garantizar una llama segura en la combustión.

5.2 Control de la combustión

El control o la regulación de la combustión se basa específicamente en 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, y pasa a un controlador que la compara con la señal de caudal de combustible. Si la proporción no es correcta, se emite una señal al servomotor de mando del ventilador o a la válvula de mariposa, de modo que el caudal de aire es ajustado hasta que la relación aire-combustible es correcta.

En la regulación de la combustión puede darse preferencia en el mando al combustible o al aire para que la operación de la caldera corresponda a un sistema determinado de varias características de seguridad. Estas características son las siguientes:

- Caudal fuel - caudal aire en serie
- Caudal aire - caudal fuel en serie
- Caudal de vapor - caudal fuel / caudal vapor - caudal aire en serie

- Caudal aire - caudal fuel en paralelo.

Nuestra caldera utilizará el controlador caudal aire - caudal fuel en paralelo, ya que este tipo de sistema presenta la ventaja de controlar directamente al fuel y al aire.

En la figura # 6 se presenta un esquema de éste tipo de control.

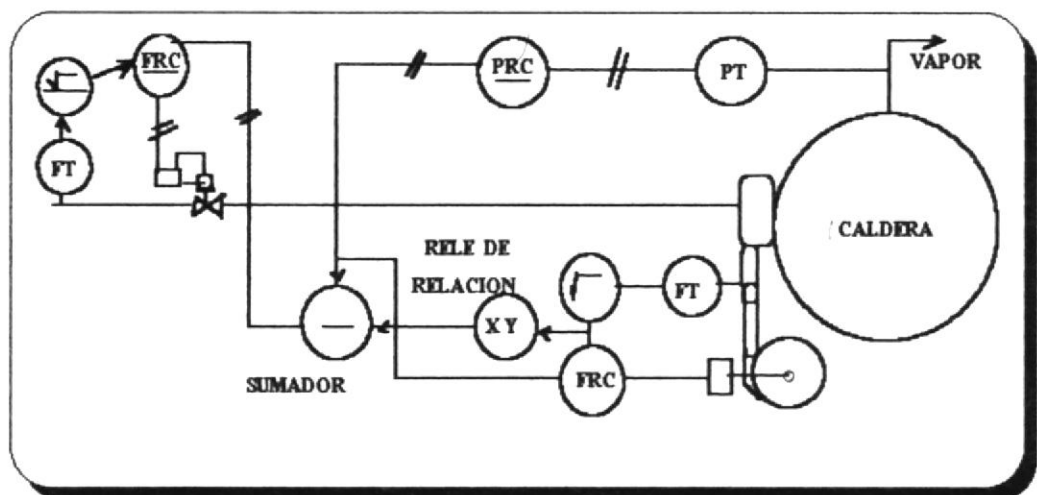


Figura # 6 .- Caudal aire-fuel en paralelo

5.3 Control de nivel

La regulación del agua de alimentación que mantiene el nivel de la caldera depende de múltiples factores entre los que mencionaremos:

- tipo de caldera

- la carga
- tipo de bomba; y 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. Al respecto la tabla VII puede servir como guía para escoger el tipo de control.

Los sistemas de control pueden ser de los siguientes tipos:

- Un elemento (nivel de agua en el colector de vapor)
- Dos elementos (nivel de agua y caudal de vapor) ; y ,
- Tres elementos (nivel de agua, caudal de vapor y caudal de agua de alimentación).

Para nuestro caso, y de acuerdo a la tabla VII tendremos:

$$\begin{array}{r}
 125 \\
 30 \text{ CC} \times \frac{34,5 \text{ lb/h}}{1 \text{ CC}} = 1035 \text{ lb/h} \times \frac{\text{Kg.}}{2,2 \text{ lb}} = 470,45 \text{ Kg/h}
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 4312,5 \\
 = 1960,22
 \end{array}$$

De acuerdo a esto seleccionamos el sistema de control de un elemento.

Control de nivel de un elemento

En la regulación de nivel de un elemento, el único elemento utilizado es el controlador de nivel que actúa sobre la válvula del agua de alimentación. El instrumento de nivel puede ser del tipo desplazamiento o de presión diferencial de diafragma.

En calderas de capacidades inferiores a 1000 Kg/h la regulación puede ser del tipo todo ó nada (on - off), con dos alarmas de nivel alto y bajo las cuales actúan poniendo en funcionamiento la bomba de agua de alimentación. En la figura # 7 tenemos el control de nivel que emplearemos en nuestra Planta Piloto

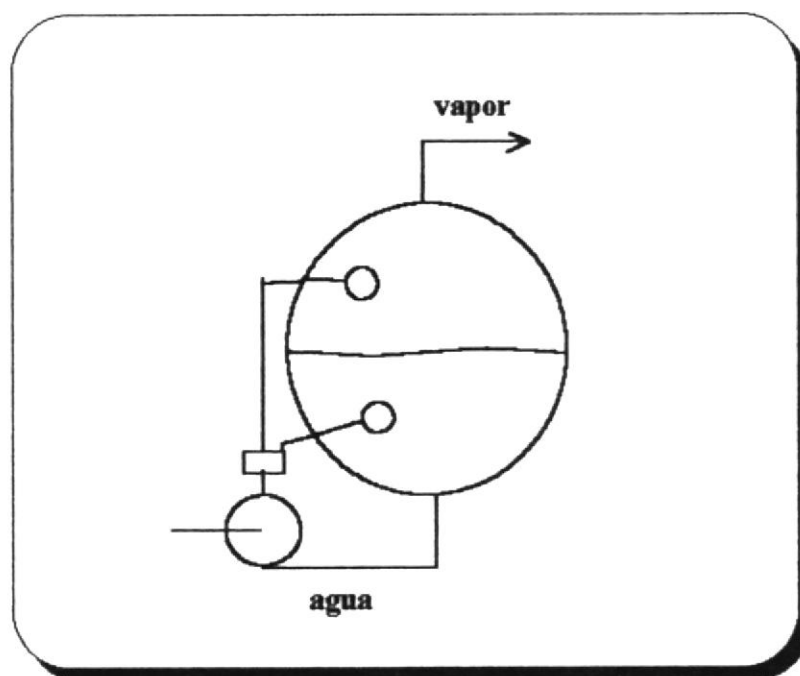


Figura # 7 .- Control de nivel de un elemento con bomba de alimentación

5.4 Seguridad de llama

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

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

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 basan su principio de funcionamiento en varias características de la llama tales como: calor ionización y radiación, pero para el caso de calderas que queman combustible líquido los detectores que mejor se adaptan son los del principio de radiación ultravioleta por la gran seguridad que ofrece.

Este último es el detector que se usará en nuestra caldera.

5.5 Programadores

Los detectores de llama arriba mencionados, están conectados a programadores con relés de seguridad de llama que incluye la parada de la caldera hasta una programación completa que realice las siguientes funciones:

- Prebarrido ó prepurga, es decir limpieza de los gases que pudieran haberse acumulado durante la última combustión en el hogar.
- Encendido de la llama piloto,

- Encendido de la llama principal
- Parada de la instalación con enclavamiento secuencial en el que intervienen los siguientes elementos: falla de llama, presión de aire de control, alimentación eléctrica, ventilador de aire forzado, alarma de bajo nivel en la caldera, etc..
- Post barrido, fase en que se limpian los gases quemados.

En la figura # 8 tenemos al tablero de control de programación para calderas Cleaver Brooks de la serie 200.

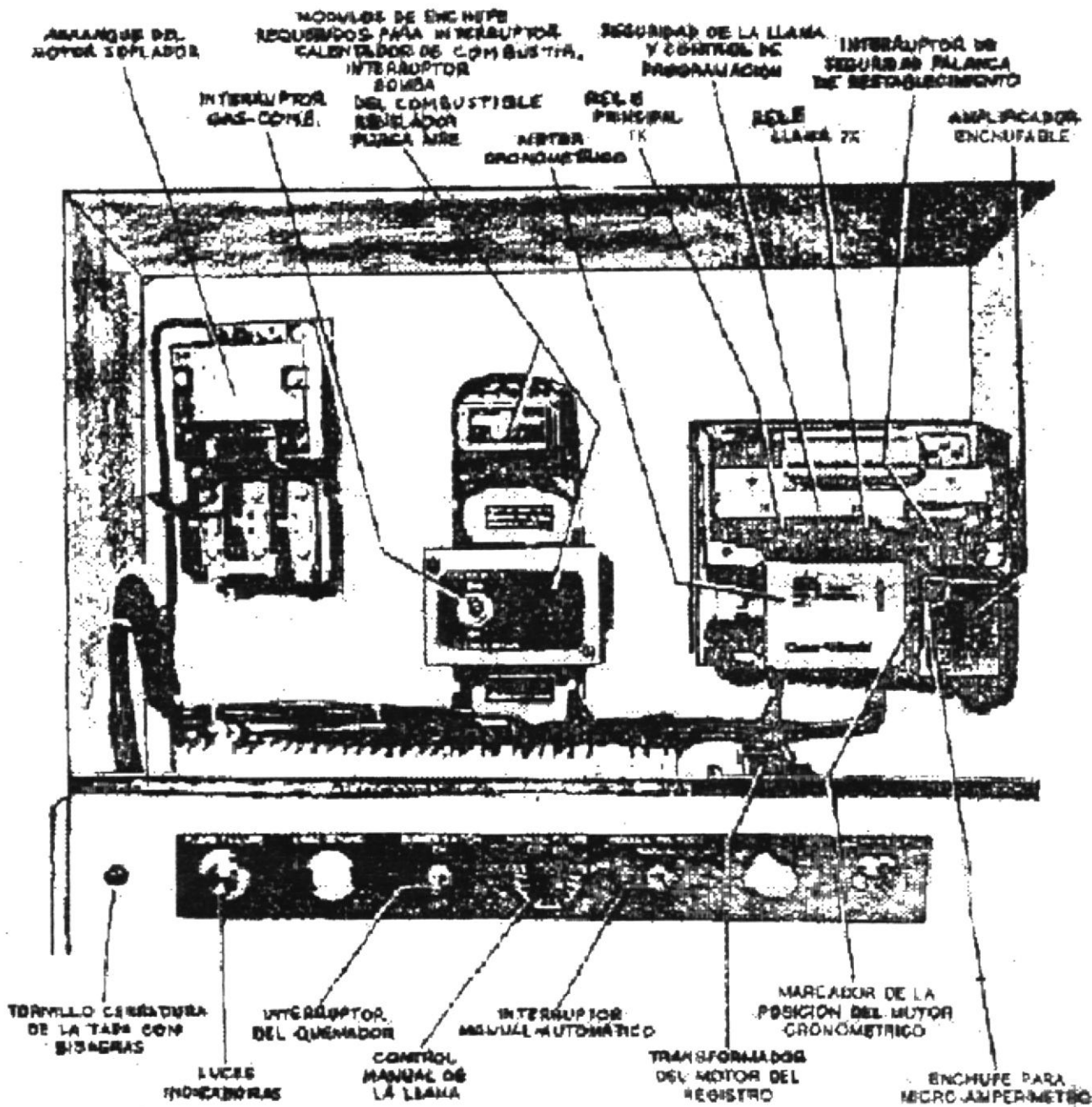


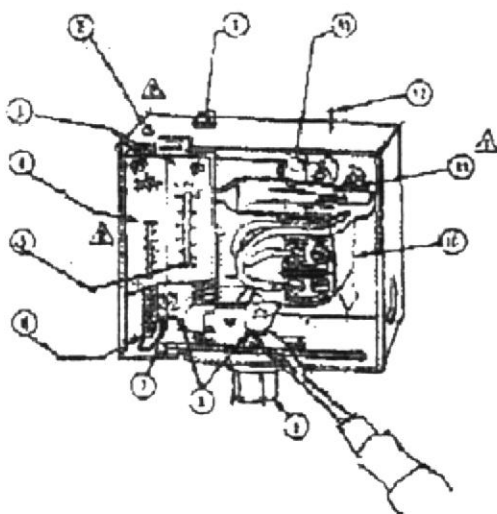
Figura # 8 .- Tablero de control de programación para Calderas Cleaver Brooks de la serie 200

5.6 Presostatos

Los presostatos son dispositivos de control de presión con fines de protección en la seguridad operacional de las calderas, que limitan los

excesos de las presiones, límites actuando en combinación con el circuito eléctrico que esta a su vez conectado con el motor del quemador.

A continuación en la figura # 9 tenemos la vista interior de un presostato en switch de Mercurio.



Vista Interior de un presostato con Switch de Mercurio

Descripción de partes:

- 1- Tornillo de ajustes de presión
- 2- Tornillo de ajuste del diferencial
- 3- Placa de escala
- 4- Indicador de escala del diferencial
- 5- Indicador de escala de presión
- 6- Balancín diferencial
- 7- Ranura límite de movimiento
- 8- Operación del balancín
- 9- Conexión del diafragma
- 10- Indicador de nivel
- 11- Switch de mercurio (cápsula)
- 12- Accionador manual de rearme
- 13- Tornillo ajustador excéntrico

Figura # 9 .- Vista interior de un Presostato con switch de mercurio

Otros de los tipos de presostatos usado en calderas es el denominado "presostato de control proporcional" que como su nombre lo indica, consiste en un control modulante usado para máximos límites de

operación o en sistemas de vapor para calefacción como un controlador directo para el motor proporcional que opera un quemador automático.

Estos presostatos van instalados en una té de tubería en la parte superior del colector de vapor.

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. En este caso el presostato accionará abriendo los contactos del interruptor.

5.7 Termostatos

Este dispositivo consiste en un bulbo sensor que transmite las variaciones de temperatura detectadas en los contactos eléctricos contenidos en su cuerpo principal.

El termostato puede ser usado, por ejemplo en el calentador del combustible (por el interior del cual se transfiere el calor suministrado por el vapor). Su función en éste caso es la de sensar la temperatura del

combustible, para regular la válvula de vapor en posición abierta ó cerrada y mantener así la temperatura deseada en el combustible.

En la figura # 10 tenemos un termostato mostrando externamente sus partes.

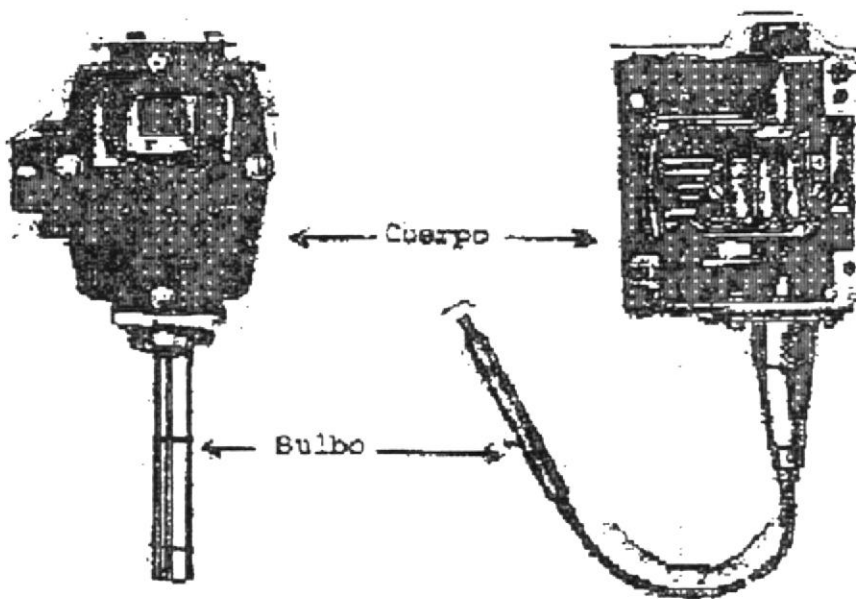


Figura # 10 .- Termostato mostrando externamente sus partes

5.8 Aparatos de control que tendrá la Planta Piloto

Los aparatos de control que tendrá la Planta Piloto de vapor serán:

CALDERA

- 2 Manómetros (para verificar la presión del combustible en el quemador y la presión en el colector de vapor).
- 1 Regulador de presión del combustible.
- 1 Válvula solenoide del combustible (para obturar ó permitir el paso del combustible).
- 1 Termostato (para regular la temperatura del combustible).
- 1 Presostato (como dispositivo de seguridad para presiones de vapor excesivas).
- 1 Manómetro para medir la presión de abastecimiento de combustible.
- 1 Manómetro para medir la presión en el calentador de vapor.
- 1 Regulador de presión del calentador de presión.
- 1 Válvula de retención (para impedir el retorno del agua de alimentación de la caldera).
- 1 Control de bajo nivel de agua con interruptor y alarma McDonnell.
- 2 Válvulas de seguridad.

AUTOCLAVES

Cada autoclave debe tener los siguientes elementos de control:

- Un termómetro de Mercurio (100°F a 270°F) y de alrededor 7 pulgadas de largo. Este se lo puede instalar en la tapa ó en la superficie lateral de la autoclave.
- Un manómetro (0 a 30 psig). Puede ser instalado junto al termómetro de Mercurio.
- 1 Válvula de control de vapor.
- 1 Regulador de presión.
- 1 Válvula de seguridad.

PRE-COCINADOR

- 1 Manómetro.
- 1 Termómetro.
- 1 Válvula de control de vapor.
- 1 Válvula de seguridad.

EVACUADOR

- 1 Termómetro.
- 1 Válvula de control de vapor.

MARMITAS

Cada marmita debe tener los siguientes elementos de control:

- 1 Manómetro
- 1 Válvula de control de vapor
- 1 Válvula de seguridad

CAPITULO # 6

6. Cálculo y dimensionamiento de las tuberías de vapor y retorno de condensado

- 6.1 Parámetros necesarios para dimensionar las tuberías de vapor y de retorno de condensado
- 6.2 Procedimiento de cálculo de las tuberías de vapor y de retorno de condensado
- 6.3 Cálculo y selección del aislamiento de las tuberías de vapor y retorno de condensado.

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

6.1 Parámetros necesarios para dimensionar las tuberías de vapor y de retorno de condensado.

Los parámetros necesarios para dimensionar las tuberías de vapor son:

- El caudal másico (lb/h ó Kg/h).- Que es lo que produce la caldera o también la suma de los caudales másicos que consumirían los equipos conectados a la tubería, más los caudales de condensación por pérdidas.
- La presión del vapor (lb/pulg² ó Kg/cm²).- se lo hará en tramos no mayores a 100 m.
- Caída de presión máxima admisible (lb/pulg² ó Kg/cm²).- Esta es la diferencia entre la presión disponible al comienzo del tramo y la presión necesaria al final del mismo.

- La longitud total de la tubería (mts.).- Aquí se considerará la longitud de la tubería horizontal más la longitud equivalente debida a válvulas, codos, conexiones, etc..

Observaciones en el cálculo de tuberías de vapor.

- 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 tamaño determinado 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 fluye en una tubería a altas velocidades puede producir ruidos excesivamente elevados.

Esto en cuanto a las tuberías de vapor, con respecto a las tuberías de retorno de condensado diremos lo siguiente:

El principal problema de dimensionamiento de este tipo de tuberías reside en el efecto de revaporizado. Para dimensionar éstas tuberías nos guiaremos por un procedimiento sencillo basado en un diagrama experimental (diagrama # 3).

6.2 Procedimiento de cálculo de las tuberías de vapor y de retorno de condensado.

La metodología de cálculo que se describe a continuación se basa en diagramas experimentales y por lo tanto no constituye un procedimiento exacto de cálculo sin embargo servirá para efectos de dimensionamiento de instalaciones de vapor de poca magnitud. La ventaja de éste método radica en su sencillez.

El método consiste en lo siguiente:

CALCULO

El caudal de vapor que circulará por la tubería es:

$$30 \text{ CC} \times \frac{34,5 \text{ lb/h}}{1 \text{ CC}} = 1035 \frac{\text{lb/h} \times 1 \text{ Kg.}}{2,2 \text{ lb}} = 470,45 \text{ Kg. /h}$$

- Presión de operación 125 psi = 8,78 Kg/cm²

Para el cálculo de las velocidades nos basaremos en la recomendación dada en el Libro Calderas Industriales y Marinas pág. 238 que dice:

Las velocidades convenientes para tuberías de vapor fluctúan entre los 15 y 60 m/s. Normalmente en tuberías principales de distribución se deben 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.

- Entonces con éstos datos nos vamos al diagrama # 1 y con la capacidad de la caldera en Kg/h nos movemos horizontalmente hasta interceptar la línea de presión que corresponde a nuestro caso.
- Luego ascendemos verticalmente, y ésta línea la interceptamos con la velocidad recomendada (50 m/s).
- Una vez hecho esto procedemos a leer el diámetro de la tubería. Si éste se encuentra entre dos valores, se escoge el de mayor diámetro.

En nuestro caso está entre 3/4" y 1", entonces seleccionamos el que tiene 1" de diámetro.

Luego con el diagrama # 2 calculamos la caída de presión por cada 100 m. de longitud.

- Ingresamos al diagrama # 2 con el caudal de vapor en Kg/h, luego ascendemos hasta interceptar la línea inclinada correspondiente al tamaño de la tubería escogida. A la derecha leemos la caída de presión ← Kg/cm² por cada 100 m de tubería.

De acuerdo a la distribución de la Planta Piloto tenemos que el último equipo se encuentra a 30 m. de la caldera y éste va a ser nuestro punto de referencia. Si la caída de presión es mayor que la requerida, entonces tendremos que reorganizar la Planta Piloto, y si es menor entonces no habría problema.

Entrando al diagrama # 2, y haciendo una extrapolación la caída de presión que sale es 7 Kg/cm² cada 100 m.

Entonces:

$$\frac{7 \text{ Kg/cm}^2}{100 \text{ m}} \times (30 + 3) \text{ m} = 2,31 \text{ Kg/cm}^2$$

En el paréntesis aparece el número 3 ya que se le añade a la longitud de la tubería el 10% de su longitud a fin de incluir todos los accesorios (codos, válvulas, etc.).

Con esto comprobamos que la máxima caída de presión es de 2,31 Kg/cm² (32,87psi) y que ésta caída de presión es aceptable ya que la presión requerida en el punto de consumo es de 15 psi.

$$125 - 32,87 = 92,13 \text{ psi}$$

Con esto podemos decir que las tuberías de la Planta Piloto deben de ser de 1" de diámetro.

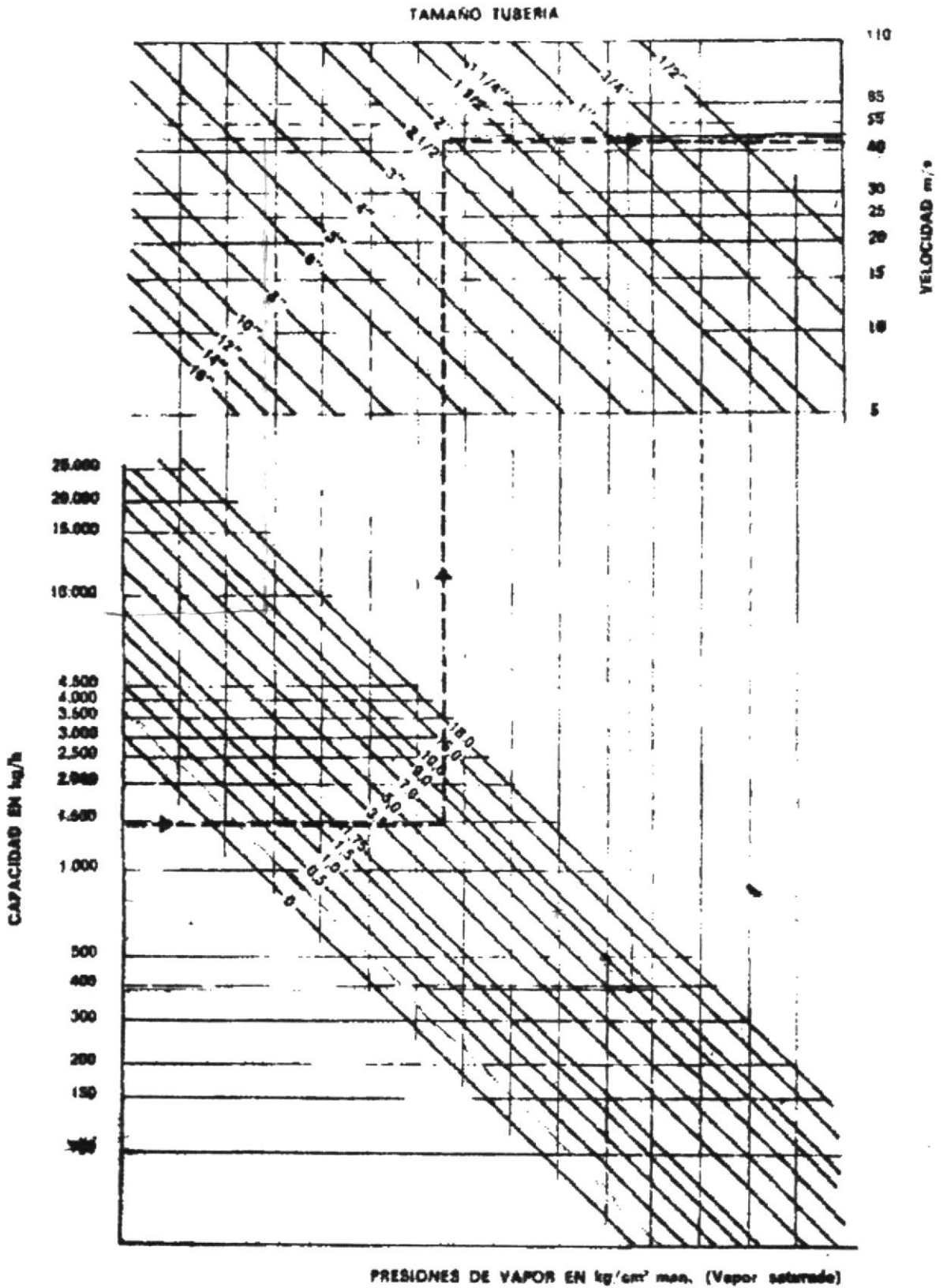
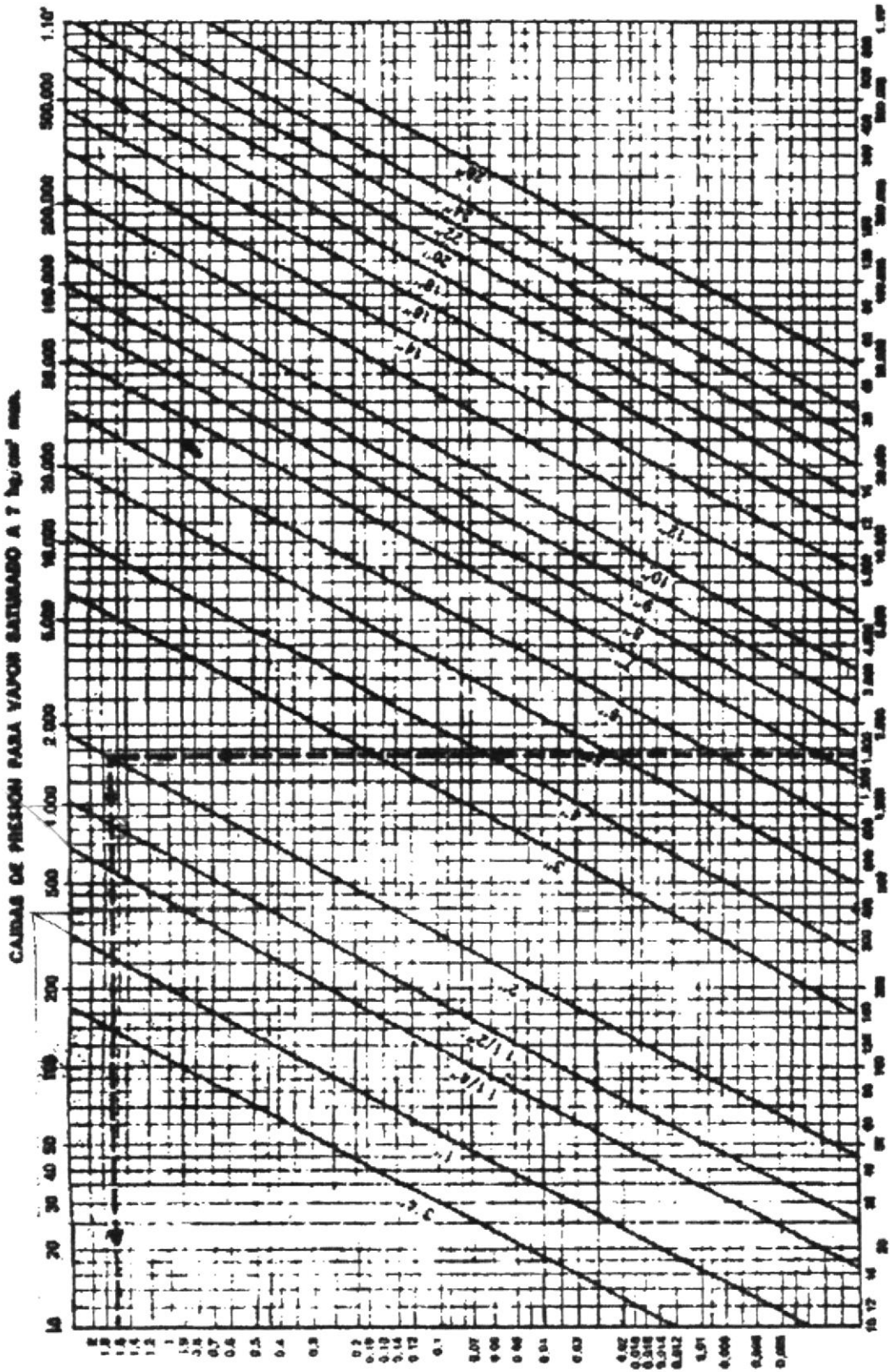


Diagrama # 1 .- Diagrama para dimensionar tuberías de vapor



CAUDAL DE VAPOR kg/h (super saturado)

PARA OTRAS PRESIONES USAR EL FACTOR DE CORRECCION

kg/cm ²	0	0.14	0.25	0.7	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	15	17	21	25	28	35	42
FACTOR	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Diagrama # 2 Diagrama para dimensionar tuberías de vapor

CALCULO DE TUBERÍAS DE RETORNO DE CONDENSADO

Para poder calcular el diámetro de éstas tuberías necesitamos conocer el caudal de condensado que circulará por las mismas. Para ello utilizaremos las fórmulas escritas en el Libro antes mencionado página 241.

CARGAS DE CONDENSADO

Calentamiento de combustible con vapor.

$$\frac{\text{Kg. condens}}{h} = \frac{\text{GPM} \times \Delta T \text{ (} ^\circ\text{F)}}{8,8}$$

donde :

ΔT = Aumento de temperatura de 68 °F a 110 °F

GPM = 0,115

1^{er} Calentador

$$\frac{\text{Kg. condens}}{h} = \frac{0,115 \times (110 - 68)}{8,8}$$

$$\frac{\text{Kg. condens}}{h} = 0,55$$

2^a Calentador

$\Delta T =$ Aumento de temperatura de 110 °F a 212 °F

GPM = 0,115

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = \frac{0,115 \times (212 - 110)}{8,8}$$

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = 1,33$$

Esterilizadoras, Autoclaves, Retortas de calentamiento.

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = \frac{W \times C_p \times \Delta T}{2,2 \times L \times t}$$

Donde:

W = Peso del material en lbs.

C_p = Calor específico del material

ΔT = Aumento de temperatura

L = Calor latente del vapor

t = tiempo en horas

Autoclaves:

$$W = 1850,64 \text{ lb}$$

$$C_p = 1,7314 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 117 - 30 = 87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L = 970 \text{ Btu/lb}$$

$$t = 1 \text{ h}$$

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = \frac{1850,64 \times 1,7314 \times 87}{2,2 \times 970,3 \times 1}$$

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = 130,6$$

Cocinador

$$W = 2200 \text{ lb}$$

$$C_p = 1,7314 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100 - 23 = 77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L = 970 \text{ Btu/lb}$$

$$t = 1,5 \text{ h}$$

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = \frac{2200 \times 1,7314 \times 77}{2,2 \times 970,3 \times 1,5}$$

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = 91,6$$

Calentamiento de líquidos en Marmitas

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = \frac{G \times \rho \times C_p \times \Delta T \times 8,3}{2,2 \times L \times t}$$

Donde:

G = Galones US. de líquido a calentar = 50 lts. = 13,3 gal

C_p = Calor específico del material = 1 Btu/lb°F

ΔT = Aumento de temperatura = 140,4°F

L = Calor latente del vapor = 970,3 Btu/lb

t = tiempo en horas = 0,33 h

ρ = densidad = 8,327 lb/galón

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = \frac{13,3 \times 8,327 \times 1 \times 140,4 \times 8,3}{2,2 \times 970,3 \times 0,33}$$

$$\frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = 183,2$$

$$\text{Carga total} = 0,55 + 1,33 + 130,6 + 91,6 + 183,2$$

$$\text{Carga total} = 407,28 \frac{\text{Kg. condens}}{\text{h}} = 896,02 \frac{\text{lb condens}}{\text{h}}$$

Hecho esto necesitamos los siguientes parámetros :

Presión de vapor

La presión a la que se suministra el vapor es de 125 psi

Presión en la tubería de retorno

La presión de retorno que utilizaremos será de 15 psi

Velocidad permisible

Por recomendación dada en el libro Calderas Industriales y Marinas página 242 la velocidad recomendada es de 5000 ft/min (25,4 m/s).

Conocidos todos los parámetros aplicaremos la siguiente metodología.

$$- \frac{\text{Velocidad permisible} \times 100}{\text{carga de condens (lb/h)}} = \frac{5000 \times 100}{896,02} = 558 \frac{\text{ft/min}}{100 \text{ lb/h}}$$

- Con el diagrama # 3 y con los datos de la presión de vapor y la presión en la línea de retorno sacamos el factor de escala, que es igual a 0,39.
- La velocidad obtenida arriba se la divide para el factor de escala, para así hallar el valor final de la velocidad en ft/min/100 lb/h.

$$\frac{558}{0,39} = 1430,8 \text{ ft/min/100 lb/h.}$$

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

Para otras tuberías multiplicar la vel. de la tubería de 3" por:

Tubería	Factor
4"	0.60
5"	0.57
6"	0.50
8"	0.45
10"	0.40

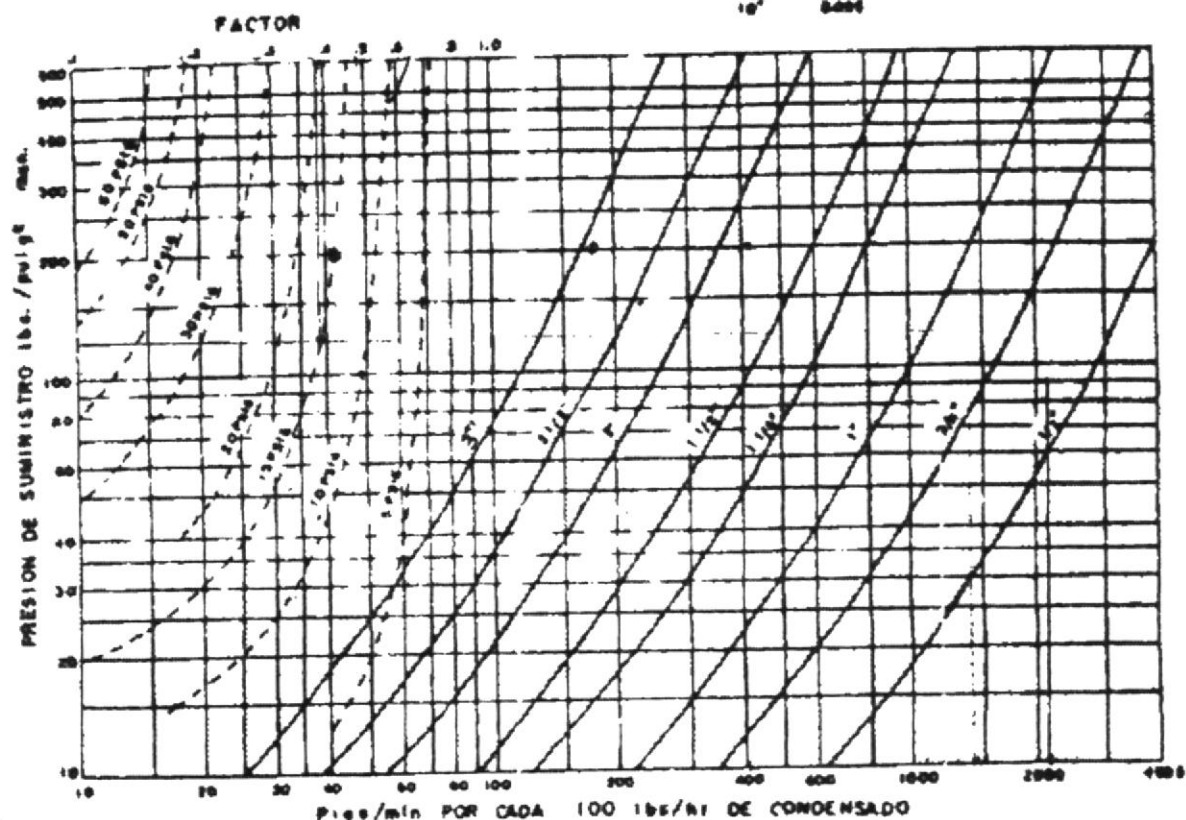


Diagrama # 3 .- Diagrama para dimensionar tuberías de retorno de condensado.

- Entrando al diagrama # 3 con éste valor de 1430,8 ft/min/100 lb/h. y con la presión de vapor de 125 psi., encontramos el punto de intersección entre los diámetros 3/4" y 1", entonces seleccionamos el de 1".

6.3 Cálculo y selección del aislamiento de las tuberías de vapor y retorno de condensado

El aislamiento en las tuberías, por cuyo interior circula un fluido a temperatura mayor que la temperatura ambiente es necesario para evitar las pérdidas caloríficas y por lo tanto la disminución de la eficiencia de la Planta térmica.

Observaciones preliminares sobre el aislamiento térmico

Para efectuar la instalación de un aislamiento térmico deben tomarse en cuenta las siguientes observaciones:

- a) El material aislante debe ser capaz de soportar la temperatura máxima de operación del fluido que se encuentra circulando por la tubería.
- b) El aislamiento debe estar sujeto a acoplarse adecuadamente sobre la superficie de la tubería y formar una buena unión.
- c) En las uniones, el aislamiento debe ir ajustado y alternado (si es de doble capa).

- d) De preferencia el aislamiento debería ser impermeable en las líneas de tuberías que se encuentran a la intemperie o enterradas; para evitar así la penetración de agua en su interior.
- e) En el caso que el aislamiento no sea impermeable, deberá ser protegido con un revestimiento y/o pintado si fuere necesario.

MATERIALES AISLANTES

Entre los materiales aislantes más usados en plantas térmicas encontramos:

Aislamientos de 85% de magnesia plástica, fieltro de fibra de asbesto laminada y varias clases de lana mineral, incluyendo la lana de vidrio así como otros materiales.

El material aislante que se usará en la Planta Piloto es lana mineral, ya que éste es el aislante más usado en plantas térmicas y se lo encuentra fácilmente en el mercado.

*se usa con el
temp de 315°C*

El espesor del aislamiento térmico aumenta según aumente el diámetro de la tubería y la temperatura del fluido que circula por el interior de la tubería.

Para tuberías de $1\frac{1}{2}$ " de diámetro el espesor de aislamiento puede ser de $2\frac{1}{2}$ " (Página 160 libro Montaje de maquinaria Industrial Tomo I por Ing. Angel Vargas).

$1\frac{1}{2}$ - 2
 $3\frac{1}{2}$ - 2

CAPITULO # 7

7. Trampas de Vapor

7.1 Definición

7.2 Tipos de trampas de vapor

7.3 Selección de las trampas de vapor

7.4 Ubicación de las trampas de vapor

7. TRAMPAS DE VAPOR

7.1 Definición

Las trampas de vapor constituyen un complemento indispensable en todo sistema de vapor, pues con estos elementos se consigue.

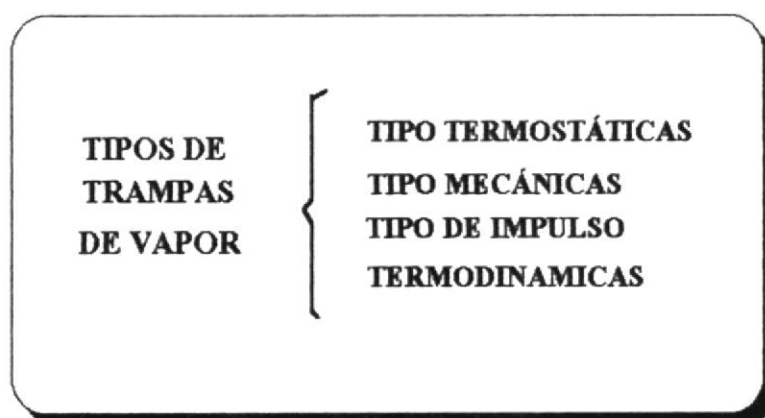
- a) Extraer el condensado⁶ que se forma, y ;
- b) Eliminar el aire indeseable y los gases no condensables.

Por lo tanto, una trampa de vapor no es otra cosa que una válvula automática, la misma que ejerce las funciones arriba mencionadas y que además impide la pérdida de vapor en el sistema.

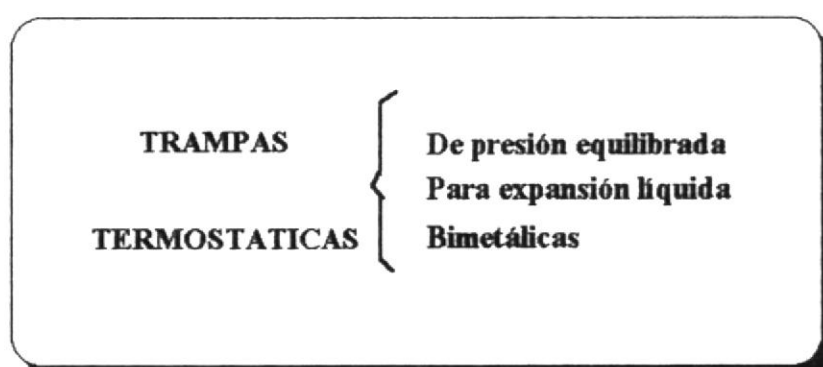
7.2 Tipos de trampas de vapor

Entre los diferentes tipos de trampas de vapor podemos mencionar los siguientes:

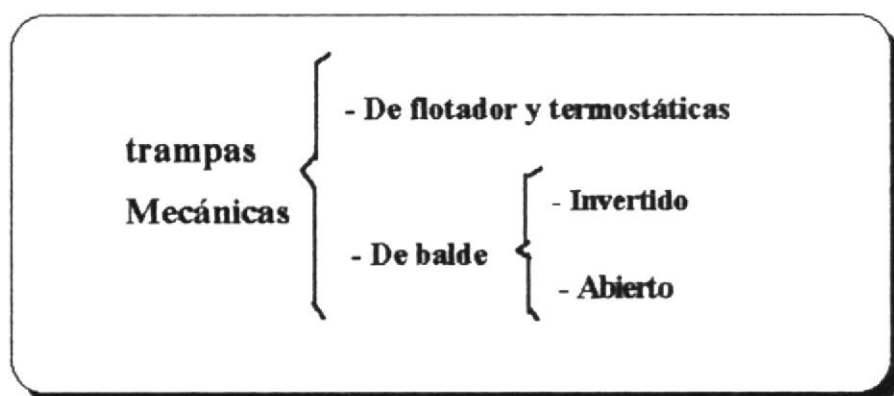
⁶ El condensado se produce cuando el vapor cede su calor latente y se convierte en agua



Las trampas termostáticas a su vez pueden ser:



Las trampas tipo mecánico pueden ser:



7.3 Selección de las trampas de vapor

Como hemos visto las trampas de vapor son muy diversificadas, por lo tanto el escoger la trampa adecuada es un asunto bastante delicado . En lo referente al tamaño se requiere hacer un cálculo prolijo para establecer el tamaño correcto de la trampa según parámetros:

- Cantidad de condensado que debe separar la trampa (kg/h ó lb/h)
- Presión diferencial entre la entrada y la salida de la trampa
- Factor de seguridad.

Sin embargo existen catálogos dados por los fabricantes de trampas con lo cual se hace más fácil la selección de las mismas.

La tabla VIII nos puede servir de guía para seleccionar el tipo de trampa adecuada. Mediante ésta tabla seleccionaremos las trampas de vapor, y éstas son:

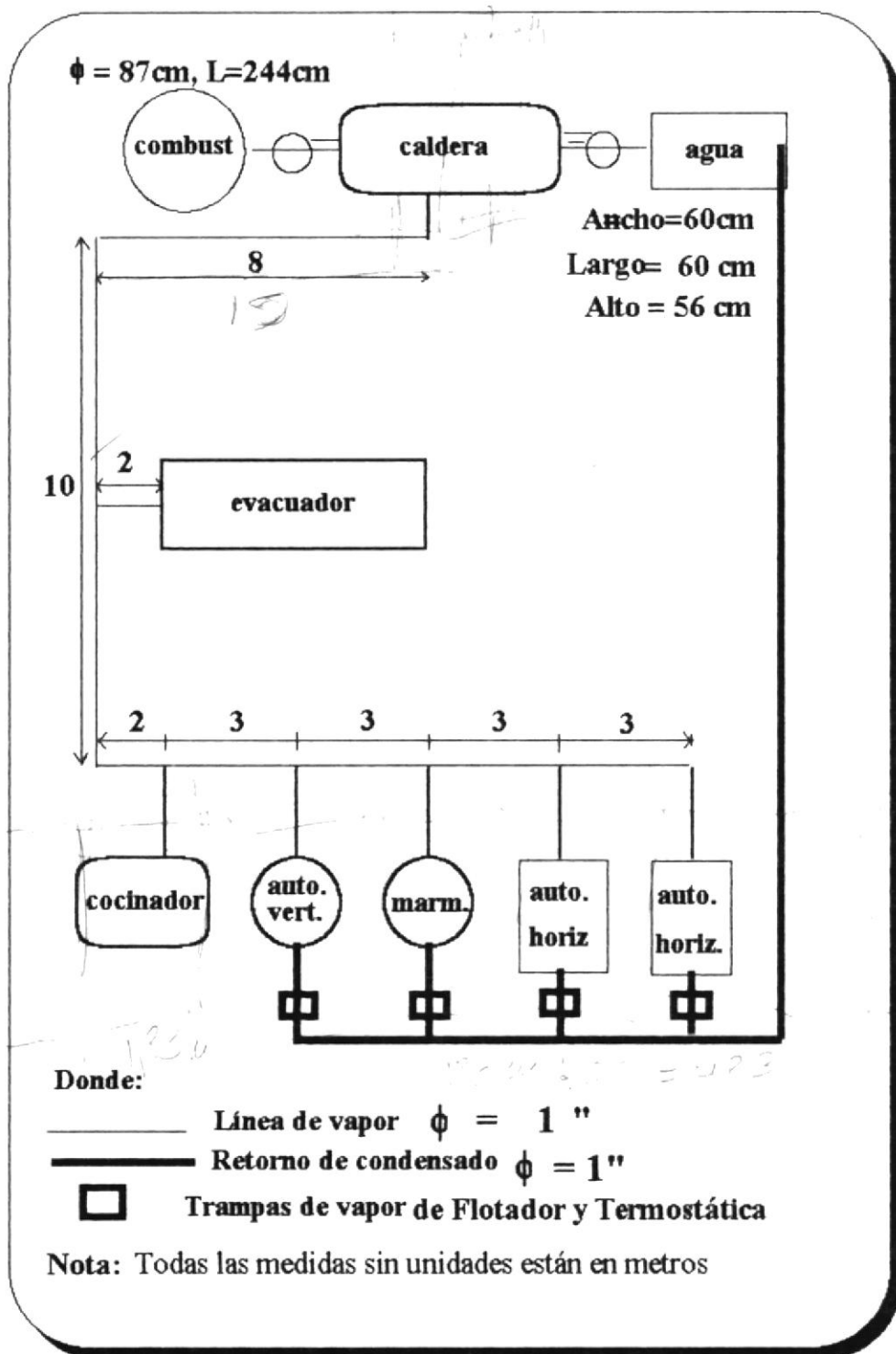
- De flotador y termostática
- Termodinámicas.

La primera opción es la recomendada y la segunda, es una alternativa propuesta en caso de tener éste tipo de trampas.

7.4 Ubicación de las trampas de vapor

- Las trampas de vapor deben colocarse debajo del equipo ó de la tubería que se quiere drenar, para permitir al condensado fluir con gravedad a la trampa.
- Las trampas excepto las termostáticas deben instalarse cerca de los equipos que se desea drenar.
- Las trampas termostáticas pueden colocarse a una cierta distancia del equipo para que el condensado se enfríe un poco.

A continuación daré el esquema de la Planta de vapor incluyendo la tubería de retorno de condensado y las trampas de vapor.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Antes de empezar a dar mi criterio y las recomendaciones pertinentes, es importante decir, que la selección de todos los equipos e implementos se la hizo escogiendo lo mejor para la Planta Piloto, y después, compararemos lo que hemos seleccionado con lo que tenemos en ésta Planta para luego tratar de utilizar lo que tenemos adaptándolo a lo que necesitamos.

A continuación haré una comparación de los resultados obtenidos con lo existente en la Planta Piloto de vapor.

- La caldera que requerimos por medios de cálculos teóricos es de 25 CC y como en el mercado no existen calderas de ésta capacidad, entonces seleccionamos la que tenga características parecidas y es la de 30 CC, y como la que existe en la Planta Piloto de vapor de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la ESPOL es de 30 CC., podemos hacer uso de la misma.
- Con respecto al sistema de agua de alimentación lo tendremos que volver a dimensionar, ya que lo que obtuvimos teóricamente no es lo

mismo a lo que se tiene en la Planta, por ejemplo se requiere usar un tanque de 223,7 lts. y el que tiene es de 205 lts.

- El sistema de combustible de la caldera que existe actualmente utiliza diesel oil como combustible, una alternativa que propongo es la de cambiar el combustible de diesel oil a Fuel oil (Bunker No. 6), para hacer a la Planta más económica. El procedimiento de cómo hacerlo ya fue explicada en el capítulo # 4. Al realizar ésta modificación, tendríamos que cambiar también las dimensiones del tanque de combustible de uso diario. Algo importante de destacar, es que la Planta Piloto de vapor no cuenta con tanques de reserva de combustible, ya que la ésta no funciona a full time, pero lo calculamos para evitar estar comprando a diario el combustible .
- Comparando el sistema de control existente, con el sistema de control seleccionado (que debería de tener dicha Planta), nos damos cuenta que faltan algunos aparatos e instrumentos de control, los cuales ya fueron detallados en el capítulo # 5 .
- Las tuberías de circulación de vapor aplicando la metodología experimental, ya explicada, nos da un diámetro de 1" , la misma que

coincide con la ya existente. Estas están colocadas con soportes insuficientes, y además desprovista de aislamiento. Por lo tanto se recomienda proveer de un mayor y más funcional número de soportes de sujeción de ésta tubería, los cuales deben ir ubicados a una distancia de 2,5 m. entre soportes.

También se recomienda colocar aislamiento en la tubería de vapor, el cual ya fue seleccionado (lana mineral) de un espesor de 1".

- La Planta Piloto no posee tubería de retorno de condensado a la salida de los equipos. Por lo tanto se recomienda proveer de tubería de retorno de condensado de 1" de diámetro, de acuerdo a los cálculos realizados, así como de trampas de vapor del tipo flotador y termostática preferentemente, o como una alternativa usar trampas termodinámicas, éstas deben ir ubicadas de tal forma que se disponga de una trampa a la salida de cada equipo.

TABLAS

TABLA I

Número de autoclaves	Autoclave Vertical u horizontal de menos de 15' de largo	Autoclave horizontal de más de 15' de largo
1	2 pulgadas	2 a 2½ pulgadas
2	2½ "	3 a 3½ "
3	3 "	3½ a 4 "
4	3½ "	4 a 5 "

Tabla I.- Diámetro mínimo de las cañerías de la línea de vapor

TABLA II

Tamaño de las perforaciones (en pulgadas)	Número de perforaciones				
	Cañería de 1 pulgada	Cañería de 1¼ pulgad.	Cañería de 1½ pulgad.	Cañería de 2 pulgadas	Cañería de 2½ pulgad.
3 / 16	47 - 62	81 - 108	111 - 148	183 - 244	260 - 346
7 / 32	35 - 56	60 - 80	71 - 108	153 - 180	190 - 254
1 / 4	27 - 60	45 - 60	63 - 84	102 - 137	147 - 196
3 / 8	-	21 - 28	28 - 37	45 - 60	66 - 88
7 / 16	-	-	21 - 28	33 - 45	48 - 64
1 / 2	-	-	15 - 20	20 - 36	36 - 48

Tabla II .- Tamaño y número de perforaciones en el sistema de distribución del vapor

TABLA III

CAPACIDAD DE CALDERA BHP		20	30	40	50	60	70	80
Modelo de la Caldera		D-220	D-230	D-240	D-250	D-260	D-270	D-280
Superficie de calentamiento Pies ²		100	150	200	250	300	350	400
BTU por Hora		669	1.020	1.339	1.674	2.008	2.343	2.678
Heat release en Hogar de Combustión		79	95	85,6	91,5	90,6	97,5	101
Vapor a 212°F (lb/h)		690	1.034	1.380	1.725	2.070	2.415	2.760
Consumo de Aceite GPH		7,7	9,9	12,1	15,2	18,3	21,3	24,3
Consumo de gas Pie ³ /H		840	1.275	1.674	2.100	2.520	2.940	3.360
Volumen de combustión Pie ³		10,6	13,21	19,51	22,88	27,72	30,05	33,1
Contenido de agua (lb)		1.260	1.870	2.640	3.030	3.700	4.180	4.600
Contenido de agua (lleno) (lb)		1.520	2.270	3.280	3.770	4.830	5.440	5.870
Peso Neto (lbs)		3.300	4.000	5.900	6.600	7.700	8.950	9.800
Peso de la caldera llena (lbs)		4.820	6.270	9.180	10.370	12.530	14.390	15.670
Ref Dimensiones en pulgadas		20	30	40	50	60	70	80
A Longitud total		97	124	130 1/8	145	140	150	134
B Altura total del piso a la salida de vapor		55 1/4	55 1/4	64 1/2	64 1/2	70 5/16	70 5/16	70 1/16
C Altura hasta conexión superior columna de agua		57 1/2	57 1/2	66 3/4	66 3/4	72 9/16	72 9/16	78 3/16
D Hasta la Ç del quemador		27 1/2	27 1/2	32 11/16	32 11/16	34 1/4	34 1/4	35 5/16
E Hasta la Ç de la caldera		34	34	39 11/16	39 11/16	42 1/2	42 1/2	45 5/16
F Diametro Inferior al cuerpo		36	36	42	42	48	48	54
G Longitud del cuerpo a la caldera		74 1/8	100 1/8	104 1/8	118 1/8	114 1/8	126 1/8	110 1/16
H Localización de la Salida vapor		28 1/2	33 1/2	34 1/2	37 1/8	36 3/8	38 1/4	35 3/16
I Longitud de la base		72 1/2	104 1/2	110 5/8	125 5/8	122 1/2	132	116
J Ancho de la base		32 1/2	32 1/2	36	36	42	42	48
K Distancia entre soportes base		30 5/8	65 5/8	64 5/8	78 5/8	73 3/4	85 7/8	69 3/4
L Altura de la Base		6	6	6	6	6	6	6
M Dist entre Sop.y Ext.Pos.Cuep.		19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	18 3/8	18 3/8	18 3/16
N Dist. entre Sop y Ext Frontal C		15 1/4	15 1/4	20 1/4	20 1/4	22	22	22
O Espacio libre para remover tub		48	74	78	89	88	101	84
Diámetro Nominal Salida de Vapor 125PSIG		1 1/2	2	2	2	2 1/2	2 1/2	3
Conexión para Alimentación de Agua		3/4	3/4	1	1	1	1	1
Conexión para precalentador de combust.		3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4

Tabla III.- Tabla para seleccionar calderas

$$2,07 \times \frac{11}{60 \text{ min}}$$

TABLA IV

C.C.	GPM	C.C.	GPM	C.C.	GPM	C.C.	GPM	C.C.	GPM
20	1,38	60	4,14	110	7,59	190	13,1	400	27,6
25	1,73	65	4,49	120	8,29	200	13,8	450	31,3
30	2,07	70	4,83	130	8,97	225	15,5	500	34,5
35	2,42	75	5,18	140	9,66	250	17,3	600	41,4
40	2,76	80	5,52	150	10,4	275	19	700	48,3
45	3,11	85	5,87	160	11,1	300	20,7	800	55,2
50	3,45	90	6,21	170	11,7	325	22,5	900	62,1
55	3,8	100	6,9	180	12,4	350	24,2	1.000	69

CC = Caballos Caldera

GPM = Galones U.S. por minuto

Tabla IV.- Caudal Volumétrico requerido para alimentar calderas

TABLA V

Presión de Operación de la Caldera	Presión de descarga Bomba de alimentación
lbs/pulg ²	lbs/pulg ²
200	250
400	475
800	925
1.200	1.350

Tabla V .- Presiones aproximadas de descarga de bombas de alimentación

TABLA VI

Litros	Galones Americanos	Caballos Caldera
1.500	369,3	hasta 50
2.000	528,4	60 - 70
3.000	792,6	80 - 100
4.000	1.056,8	125
5.150	1.360,6	150
6.000	1.585,2	200
7.300	1.928,7	250
10.000	2.642	300

NOTA.- Para calderas de capacidades superiores a 300 CC deberá calcularse y diseñarse el tanque de servicio diario tomando como dato principal el consumo de combustible de la caldera.

Tabla VI.- Capacidad mínima de almacenamiento con respecto a C.C.

TABLA VII

TIPO	VARIABLES	CAPACIDAD DE LA CALDERA Kg/h		
		< 6000	6000 - 15000	> 15000
Un elemento	nivel	Cargas irregulares	Pequeños cambios de carga	Cargas Mantenidas
Dos elementos cambios	nivel	Cargas irregulares	Cambios de carga moderados	Lentos de carga moderados
	caudal de vapor	con grandes fluctuaciones		
Tres elementos	nivel caudal de vapor caudal de agua			> 20000

Tabla VII.- Sistemas de control de nivel

TABLA VIII

APLICACION	ALTERNATIVA PREFERIBLE	ALTERNATIVA TOLERABLE
Serpentines de calefacción de aire baja y media presión, alta presión	Flotador y termostática	Termodinámica
Calentadores de agua (instantáneos)	Flotador y termostática	-----
Calentadores de agua (almacenamiento)	Flotador y termostática	-----
Intercambiadores de calor pequeños - alta presión	Termodinámica	Flotador y termostática
grandes-baja y media presión	Flotador y termostática	-
Recalentadores	Flotador y termostática	-
Recipientes con camisa de vapor Alta presión	Termodinámica	Flotador y termostática
Baja presión	Flotador y termostática	Termodinámica
Trampas para drenar líneas principales de vapor		
0 - 15 psig	Flotador y termostática	-----
16 - 125 psig	Termodinámica	Flotador y termostática
126 - 600 psig	Termodinámica	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 - 15 psig	Flotador y termostática	-----
16 - 125 psig	Termodinámica	Flotador y termostática
126 - 600 psig	Termodinámica	Balde Invertido
Líneas de tránsito de vapor	Termodinámica	Expansión Líquida
Serpentines de tanques de almacenamiento.	Expansión Líquida	Termodinámica
Serpentines sumergidas de calefacción		
Baja presión	Termodinámica	Balde Invertido
Baja y Media presión	Flotador y termostática	Termostática de presión equilibrada

Tabla VIII .- Tabla de guía para seleccionar trampas de vapor

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Cleaver Brooks " Manual de Calderas "; Sociedad Electromecánica S.A. de CV; México ; 1976.
- ◆ Connell A. J. " El pescado y las Industrias derivadas de la pesca " ; Editorial Acribia, México ; D.F.; 1980, PP 207 - 228
- ◆ Sullivan K. N., " Tres métodos básicos para probar el trabajo de las trampas de vapor " Revista Industrial Internacional; vol. 10 No. 5; U.S.A.; 1978
- ◆ Vargas Zúñiga A., Clasificación de las Calderas, Revista Poligira 84 - 85; ESPOL, (Guayaquil-Ecuador 1984).
- ◆ Vargas Zúñiga A., Calderas Industriales y Marinas , Editorial Series VZ, (Guayaquil-Ecuador 1984), PP 40 - 214
- ◆ Vargas Zúñiga A., Mantenimiento de Calderas Industriales y Marinas , Editorial Series VZ, (Guayaquil-Ecuador 1990), PP 98 - 108
- ◆ Vargas Zúñiga A., Montaje de maquinaria Industrial , Editorial Series VZ, (Guayaquil-Ecuador 1982), PP 191 - 201