



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

**“Análisis y Cálculo Energético de un Sistema de Vapor  
para una Industria de Electrodomésticos”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

**FABRICIO ANTONIO CORNEJO ZÚÑIGA**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**AÑO**

**2002**



## AGRADECIMIENTO

A Dios sobre todas las cosas que ha sido luz que me ha guiado en el transcurso de mi vida académica y a todas esas personas que con su ayuda desinteresada contribuyeron para la realización del presente proyecto, especialmente al Ing. Ángel Vargas, por su invaluable colaboración.

## DEDICATORIA

A mis padres y hermanos  
por su constante aliento y  
ayuda.

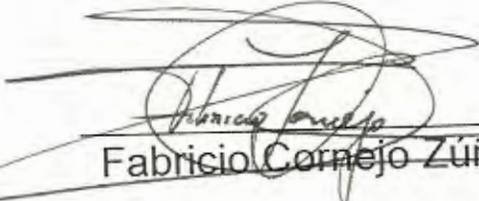


Y en especial a mi esposa  
Diana que me dio el ánimo y  
las fuerzas necesarias para  
este paso importante en mi  
vida.

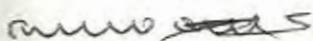
## DECLARACIÓN EXPRESA

“ La responsabilidad del contenido de esta Tesis de grado, me corresponden exclusivamente ; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

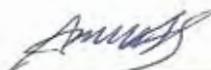
  
Fabricio Cornejo Zúñiga

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



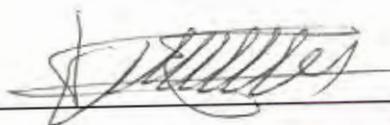
---

ING. FRANCISCO ANDRADE  
PRESIDENTE



---

ING. ÁNGEL VARGAS  
DIRECTOR DE TESIS



---

ING. EDMUNDO VILLACÍS  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## RESUMEN

La tesis se basará en realizar los cálculos energéticos de una planta de electrodoméstico, con lo cual se hará una selección correcta de la caldera, cálculo de los sistemas auxiliares, sistema de agua de alimentación y de combustible, dimensionamiento correcto de las tuberías de vapor y condensado, conjuntamente con la selección de las trampas de vapor.

Por medio de Tablas se escogerá el diámetro adecuado de las tuberías de vapor y de retorno condensado, presentando una distribución de las mismas en la planta. Adicionalmente se presentará la selección y ubicación de las trampas de vapor.

Para la selección correcta es necesario determinar la producción de vapor requerida para alimentar dos áreas del proceso, el área de Decapado y el área de Fosfatado, que son procesos que permiten obtener un acabado superficial en las piezas que van a ser pintadas. La diferencia de estos dos procesos mencionados es que con el proceso de Decapado se puede obtener una mejor adherencia de la pintura sobre las piezas, permitiendo así obtener una mejor calidad del producto final.

La demanda de vapor se determinará en base a los requerimientos del sistema en régimen de trabajo. Esto ocurre en el momento en que se

desea llevar al sistema a la temperatura del proceso. En el proceso de Decapado se debe considerar el calor requerido para mantener la temperatura en el momento que se introducen las partes de los electrodomésticos en un recipiente en los que la pieza recibirá un tratamiento sobre la superficie durante un tiempo determinado, y además todas las pérdidas que se producen al perder calor al medio ambiente.

Para el proceso de Fosfatado se considera el calor requerido para mantener la temperatura del proceso sólo considerando las pérdidas de calor al medio ambiente, debido a que en este proceso no es requerido la introducción de piezas al sistema. En ambos procesos se cuenta con secadores diseñados para eliminar la humedad indeseable en las piezas, en los que también se determinará el calor requerido.

En el último capítulo se busca sugerir a la administración una alternativa que pueda ser válida para el ahorro energético. Para este propósito se analiza las pérdidas de calor que se puede obtener con diferentes espesores de aislamiento para las tuberías de vapor. Además es este capítulo se entrega un cuadro de costos de inversión que le servirá a la administración para tener una visión clara de lo que representará levantar todo el sistema de vapor.

## INDICE GENERAL



Página

RESUMEN

INDICE GENERAL

SIMBOLOGÍA

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

I. LA INDUSTRIA DEL ELECTRODOMÉSTICO.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Generalidades de la Industria del Electrodoméstico.....	4
1.3 Procesos de Producción.....	6
1.3.1 Decapado.....	8
1.3.2 Fosfatado.....	10
II. CÁLCULO DE LA CALDERA.....	13
2.1 Tipos de Caldera.....	14
2.2 Cálculo de la demanda de vapor.....	17
2.2.1 Determinación de la Potencia.....	17
2.2.2 Selección de la Unidad.....	58

2.3	Sistemas de control de la caldera.....	59
III.	CÁLCULO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LA CALDER.....	64
3.1	Selección del Combustible.....	64
3.2	Determinación de la capacidad de combustible.....	65
3.3	Capacidad y dimensionamiento del tanque de combustible.....	68
3.4	Cálculo y selección de la bomba de combustible.....	69
IV.	CÁLCULO DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	72
4.1	Cálculo de la capacidad de agua de alimentación.....	72
4.2	Capacidad de dimensionamiento del tanque.....	73
4.3	Cálculo y selección de la bomba de agua de alimentación.....	74
V.	CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE VAPOR Y CONDENSADO.....	80
5.1	Distribución de las líneas de vapor.....	82
5.2	Cálculo del diámetro de las tuberías de vapor.....	82
5.3	Distribución de tuberías de retorno de condensado.....	87
5.4	Cálculo del diámetro de las tuberías de retorno de condensado...89	
VI.	TRAMPAS DE VAPOR.....	93
6.1	Tipos de trampas de vapor.....	94
6.2	Cálculo y selección de trampas de vapor.....	95
6.3	Ubicación de trampas de vapor.....	100
VII.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	103
7.1	Costos del sistema de vapor.....	103

7.2 Costos operativos.....	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

## SIMBOLOGÍA

- Q: Calor requerido
- $m$ : masa
- $C_p$ : Capacidad calorífica
- $T$ : Temperatura
- Pr: Número de Prandtl
- Gr: Número de Grassoﬀ
- $g$ : aceleración de gravedad 9.8 m/s (30,44 ft/s<sup>2</sup>)
- $\beta$ : coeficiente de expansión térmica (1/°R)
- Nu: Número de Nusselt
- $k_{\text{aire}}$ : Conductividad térmica del aire
- Re: Número de Reynolds
- Pr: Número de Prandtl
- V: velocidad
- $\nu$ : viscosidad cinemática (ft<sup>2</sup>/s)
- $Q'$ : Potencia requerida
- $m'$ : flujo de masa de vapor
- $T_{\text{Bh}}$ : Temperatura de bulbo húmedo
- $h_{\text{fg}}$ : entalpía de vaporización
- TDH: cabezal

- Ge: gravedad específica
- $\eta$  : eficiencia de la bomba
- Pa: Presión (atm)
- $h_f$ : Pérdidas por fricción
- $\rho$ : densidad
- E Espesor de aislamiento
- $Q_1$  Pérdida de calor de tubería sin aislar
- $Q_2$  Pérdida de calor de tubería con aislar
- $T_s$  Temperatura superficial de tubería aislada
- AQ Ahorro de calor al aislar ( $Q_1 - Q_2$ )
- A\$ Ahorro de combustible en US\$/ML
- \$/ML Costo de aislamiento en US\$/ML
- k Conductividad del aislamiento ( $W/m^{\circ}K$ )
- $R_s$  Resistencia a película de aire
- $P_c$  Poder calorífico del combustible
- $E_f$  Eficiencia de conversión

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Distribución de Planta.....	3
Figura 2.1 Canasta para proceso de Decapado.....	17
Figura 2.2 Disposición de tanques en proceso de Decapado.....	20
Figura 2.3 Esquema de serpentines estampados.....	21
Figura 2.4 Extracción de gases en proceso de Decapado.....	30
Figura 2.5 Tanque de secado de proceso de Decapado.....	36
Figura 2.6 Rociadores en proceso de Fosfatado.....	43
Figura 2.7 Disposición de tanques en proceso de Fosfatado.....	44
Figura 2.8 Cuarto de secado en proceso de Fosfatado.....	53
Figura 2.9 Control de nivel de agua de alimentación.....	61
Figura 4.1 Tanque de alimentación de agua.....	72
Figura 5.1 Distribución de líneas de vapor.....	82
Figura 6.1 Trampa termostática tipo fuelle.....	96
Figura 6.2 Trampa de balde invertido.....	98
Figura 6.3 Disposición de trampas.....	100

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros para proceso de Decapado.....	18
Tabla 2	Parámetros para proceso de Fosfatado.....	45
Tabla 3	Capacidad de producción de vapor de la caldera.....	60
Tabla 4	Análisis de costos de combustible.....	65
Tabla 5	Capacidad mínimo almacenamiento con respecto a C.C....	66
Tabla 6	Caudal volumétrico requerido para alimentar calderas.....	75
Tabla 7	Dimensionamiento de tuberías en proceso de Decapado...85	
Tabla 8	Dimensionamiento de tuberías para proceso de Fosfatado.86	
Tabla 9	Tipos de Trampas de vapor.....	95
Tabla 10	Equivalencia de accesorios.....	104
Tabla 11	Costos de Inversión.....	105
Tabla 12	Ahorro de combustible en proceso de Decapado.....	112
Tabla 13	Ahorro de combustible en proceso de Fosfatado.....	114

# CAPÍTULO 1

## 1. LA INDUSTRIA DEL ELECTRODOMÉSTICO

### 1.1 Introducción

El propósito del presente proyecto es el de satisfacer el requerimiento de un grupo empresarial interesado en levantar una industria para la producción de partes de electrodomésticos.

Dentro del proyecto se establece una necesidad en la que se va a centrar el trabajo, que es de abastecer de energía al proceso de fosfatado y decapado de los cuales se hablará al detallar el proceso de producción. Dichos procesos requieren de energía para elevar la temperatura de tinajas, donde se harán baños para el tratamiento de piezas.

Se establecen dos alternativas de intercambiadores de calor. La primera es de resistencias eléctricas, y la segunda de serpentines de vapor el cual es generado por calderas.

El proyecto se centrará en el sistema de vapor, debido a la conciencia que existe en la administración de optimizar el consumo de energía eléctrica.

El diseño del sistema se deberá adaptar a las condiciones iniciales establecidas en el proyecto general como son las áreas de producción, el área asignada para los puntos de consumo de vapor, además del área proyectada para el cuarto de calderos. Más adelante se podrá apreciar la distribución de las áreas de la planta en la figura 1.1.

Si se considera que el proyecto demandará la contratación de aproximadamente 2000 obreros, fuera del personal del área administrativa y la fuerza de ventas, habrá una ventaja por el costo de la mano de obra en el mercado local.

También se deben considerar las políticas de Estado que influyen directamente sobre la Industria como son los impuestos, los costos de diferentes tipos de energía y las políticas que se adoptan para el sector productivo.

Así mismo se debe analizar la posibilidad de cubrir el mercado no sólo nacional sino también abastecer el mercado de países vecinos como Perú y Colombia, y llegar hasta Venezuela.

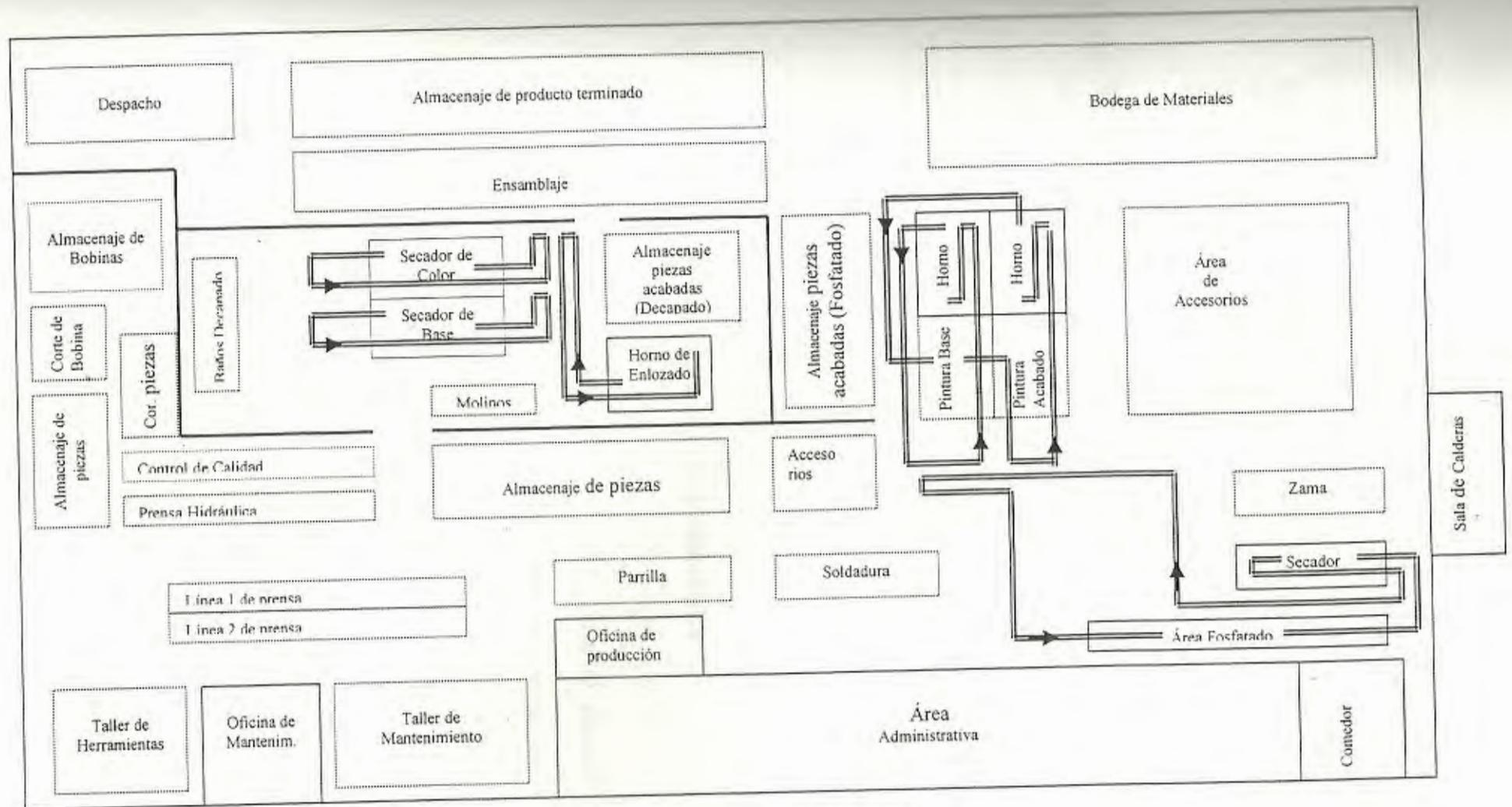


FIGURA 1.1 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

El poder adquisitivo que se puede encontrar en el mercado local, donde al encontrarse una rotación continua del producto final, se podría obtener una mejor rentabilidad al disminuir los costos de distribución.

El diseño de la planta permitirá una capacidad de producción de 1200 unidades de electrodomésticos en dos jornadas de 10 horas por día.

Inicialmente la planta producirá sólo cocinas y cocinetas debido a la alta demanda y competitividad que tienen. Las refrigeradoras y las lavadoras serán productos que entrarán en análisis debido a que son de difícil colocación en el mercado.

## **1.2 Generalidades de la Industria del Electrodoméstico**

El tipo de industria en el que vamos a desarrollar el proyecto es de fabricación de cocinas, cocinetas, refrigeradoras y lavadoras cuyo proceso de producción comprenderá el tratamiento de piezas desde el corte hasta el ensamblaje del electrodoméstico.

La materia prima requerida para la fabricación de electrodomésticos son las láminas de acero, las cuales deben ser importadas en bobinas, dejando al mercado Nacional como una alternativa para proveer este producto. La

autonomía deberá ser de más de 30 días, tiempo en el que se establece la frecuencia de importación.

Las cocinas podrán ser fabricadas de dos tipos como son las eléctricas y a gas. También habrá tipos de cocinas en las que se pueda utilizar cualquiera de estos dos tipos de energía. La industria tendrá la capacidad de fabricar todas las piezas y accesorios requeridos para el ensamblaje de las cocinas. Algunos accesorios tendrán que ser adquiridos a proveedores. Lo mismo para el caso de cocinetas

Para el caso de las refrigeradoras, la industria estará en la capacidad de fabricar todas las piezas requeridas. El sistema de refrigeración será adquirido en partes para ser colocado en el momento del ensamblaje. Para las lavadoras, equipos como el motor eléctrico también serán adquiridos.

Las industrias de electrodomésticos que se encuentran en el Ecuador son Indurama y Mabe del Ecuador que cubren tanto el mercado Nacional como Internacional. Algunos de los productos comercializados por estas industrias son importados.

Dentro de los tipos de electrodomésticos que van a ser fabricados, también se deben comercializar varios modelos que puedan satisfacer todo

requerimiento, tanto en lo económico como también en los gustos de los consumidores.

### 1.3 Procesos de Producción

El proceso se inicia al desenrollar las bobinas de láminas de acero de 1 metro ancho, para proceder a cortarlas en tamaños estándares de 1 metro 60 centímetros de largo. A estas medidas se les realiza un segundo corte que va de acuerdo a las piezas requeridas en el proceso de producción. Es muy importante considerar las pérdidas en que se puede incurrir en un mal proceso de corte debido al desperdicio de material.

Luego se distribuyen las piezas en el área de metalistería donde se dará forma a las piezas. En esta área las piezas ingresan a las prensas hidráulicas donde se les dará forma. Se contará con 6 prensas hidráulicas, en cada una de las cuales pueden ser adaptados diferentes moldes. Esta sección cuenta con aproximadamente 60 moldes intercambiables, que dependen del tipo y tamaño de cocina que se va a producir.

En el área de metalistería también se encuentra la sección de perforación y de soldadura de punto. En este lugar se realiza el acabado de la pieza como

la perforación para adaptar accesorios o cruzar tuberías. También perforaciones para unir piezas con pernos, tornillos a remaches.

Otro tipo de uniones es el que se realiza con soldadura de punto para formar cuerpos con diferentes piezas que también van a entrar en el proceso.

Se llega al control de calidad de las piezas que han pasado por el área de metalistería. En esta área se supervisa que las piezas que van a seguir en el proceso no posean rebabas, filos cortantes, superficies irregulares o puntos de soldadura pronunciados.

De presentarse alguna imperfección en la pieza, la misma es llevada al área de pulido, en la cual con herramientas neumáticas se precede a corregir las imperfecciones. Una vez rectificadas los detalles observados, continúan la línea del proceso con las otras piezas que han pasado el control de calidad.

También se supervisa que las perforaciones no sean irregulares o que la forma de la pieza vaya de acorde al diseño. De encontrarse una falla de estos tipos, la pieza es descartada.

## ACABADO

Todas las piezas que han pasado el control de calidad entran a un proceso de acabado. Se inicia con un tratamiento de la pieza que puede ser de dos tipos: Decapado o Fosfatado.

### 1.3.1 Decapado

Con el tratamiento de Decapado se puede obtener un mejor acabado de la superficie lo que permitirá una mejor adherencia de pintura esmalte. Este tratamiento consiste en colocar las piezas en canastas de tal forma que sean insertadas en tinas de 6500 litros de capacidad de rebose por medio de canastas que son manipuladas por medio de una grúa.

Los dos primeros baños que se le hace a las piezas son para desengrase a 100°C para luego pasar a una tina de enjuague a 80°C y uno a temperatura ambiente. Después se hace un baño de ácido sulfúrico a 60°C para limpiar las piezas, se pasa a un baño de enjuague con agua a temperatura ambiente y se llega a un baño de soda cáustica que funcionará como neutralizante. Por último se introduce la canasta en un secador de aire forzado calentado a través de serpentines de vapor.



En todas las finas se obtiene la energía por medio de intercambiadores de calor como son los serpentines de vapor. Con este tratamiento la pieza entra en un proceso de enlozado con esmalte lo que le da al producto final una mejor calidad.

Las piezas que salen del área de decapado se las pinta con base por medio de sopletes, pero previamente por un secador a 160 °C. Para permitir una fijación de la base; las piezas son pasadas por un horno cuya temperatura llega a los 800°C.

Una vez que las piezas salen del horno, estas se separan de aquellas que quedarán pintadas con base como son el cuerpo de la cocina, y las piezas que serán porcenalizadas con esmalte que permitirán una estética del producto final. Estas últimas vuelven a ser pintadas con colores y pasadas por un secador a 160°C antes de volver a pasar al horno donde se le dará el acabado porcenalizado que permitirá una mejor calidad del producto final.

### **1.3.2 Fosfatado**

También las piezas pueden ser tratadas en el área de Fosfatado, proceso más económico, en el cual no se podrá obtener el mismo resultado que en

el proceso de Decapado, pero si permitirá la adherencia de pintura en polvo para las piezas externas en la que se exige estética, y pintura líquida para las piezas internas.

En este proceso a diferencia del Decapado, el tratamiento se produce por duchas de fosfato disuelto en agua, bombeados de 3 recipientes de 10000 litros de capacidad a una temperatura de 60°C, con duchas intervaladas para enjuagar las piezas. Por último estas pasan por un cuarto secador con aire forzado a una cierta temperatura.

Las piezas luego del proceso de fosfatado también son separadas en dos tipos que serán las piezas internas las que serán acabadas con pintura líquida y las piezas externas que serán acabadas con pintura en polvo. Los dos tipos de piezas pasan por un área de secado a 190°C.

#### ENSAMBLAJE

Las piezas que salen del área de acabado son colocadas en canastas que serán distribuidas a lo largo de la líneas de ensamblaje. El ensamblaje será manual debido a que como se consideró inicialmente los costos de mano de obra son relativamente bajos. En esta línea participan aproximadamente

100 obreros, dependiendo del producto que se está procesando. Cada uno estará encargado de una función específica en el ensamblaje.

Adicionalmente a las piezas obtenidas en el proceso que se ha detallado, también se obtienen piezas de otras áreas independientes como la de accesorios, el área de parrilla tanto para el horno como para las hornillas y el área de tubos de combustión. Las parrillas también entran en el proceso de Decapado.

#### CONTROL DE CALIDAD

Se hace una elección aleatoria del producto terminado antes de ser embalados, con la finalidad de probar la resistencia de los materiales que van a soportar altas temperaturas, se verifica que el diseño de las piezas permita una correcta combustión, que se obtenga la temperatura deseada en el equipo y la resistencia de la pintura a elevadas temperaturas. Terminadas las pruebas se embodega el producto y se organiza la distribución.

# CAPITULO 2

## 2. CÁLCULO DE LA CALDERA

Es importante que para determinar el tamaño de la caldera, se estime la carga requerida por los dos procesos establecidos. Es importante que el vapor que sale de la caldera esté en un estado seco y saturado o en un estado de recalentamiento, ya que el vapor húmedo tiene agua y puede destruir las unidades de mampostería al salir de la boquilla.

Entonces se esperan tres condiciones deseables de una caldera:

- Cantidad. Utilice una caldera de capacidad adecuada para que produzca suficiente vapor para complementar el ciclo de curado.
- Calidad vapor saturado, es vapor de calidad, el cual contiene la cantidad correcta de calor y humedad presente.
- Velocidad Utilice tuberías de las medidas apropiadas para introducir el vapor uniformemente a los equipos con distribución igualitaria.

Otros factores a tomar en cuenta en la selección de la caldera son:

- El agua de alimentación disponible.(Calidad de agua)
- Tiempo de operación diaria de la caldera.
- Número de unidades: Depende de la demanda de vapor.
- Selección del combustible.

## 2.1 Tipos de Caldera

Existen varios tipos de calderas, pero una clasificación puede ser:

1. Por la energía consumida
2. Por disponibilidad de tubos
3. Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua
4. Por los métodos de circulación de agua
5. Por la presión de trabajo
6. Por el número de pasos y retornos
7. Por la disposición de los tubos}
8. Por la posición de las calderas

Por la energía consumida:

- Energía calorífica
- Energía eléctrica
- Energía química: Tipo de combustible

Por la disponibilidad de tubos

- Sin tubos
- Con tubos

Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua

Caldera de tubos de agua (Acuatubulares)

- Tipo cabezal
- Dos colectores
- Tres colectores

Calderas de tubos de fuego ( Piro tubulares )

Principales diferencias entre los tres tipos de calderas de agua:

1. El número y colocación de los colectores y tubos que contienen el agua y el vapor
2. El tamaño de los tubos
3. El ángulo de inclinación con respecto a la horizontal

Por el tipo de circulación del agua:

- Circulación natural
- Circulación libre
- Circulación acelerada
- Circulación forzada
- Recirculación forzada

Por la presión de trabajo

*De alta presión:* operan a presiones superiores a  $20 \text{ Kg/cm}^2$  ( $284 \text{ lbs/plg}^2$ ). (Acuatubulares)

*De baja presión:* operan hasta  $10 \text{ Kg/cm}^2$  ( $150 \text{ lbs/plg}^2$ ), llegando alcanzar  $18 \text{ Kg/cm}^2$  ( $260 \text{ lbs/plg}^2$ ). (pirotubulares)

Por el número de pasos

Se entiende por pasos, la pasada del gas proveniente del hogar hacia el sitio alrededor de los tubos. (De agua o fuego)

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

#### Por la disposición de tubos

- Tubos rectos
- Tubos inclinados
- Tubos curvos

#### Por la posición de las calderas

Sólo se incluyen las calderas Piro-tubulares:

- Calderas Verticales
- Calderas Horizontales



## 2.2 Cálculo de la Demanda de Vapor

### 2.2.1 Determinación de la Potencia requerida

#### DECAPADO

El proceso consiste en dos baños en soluciones jabonosas, solución Alcalina, solución de Ácido Sulfúrico, y agua que servirá como enjuague del material que va a ser tratado para permitir una mejor adherencia de la base y de la pintura, que sería el siguiente paso.

Los tanques tienen una capacidad de 6500 litros(rebose) con una dimensión de 2,5 metros de lado por 1 metro de altura. Las piezas serán introducidas

en cada uno de los tanques por medio de un Tecele de una capacidad de 0,5 Toneladas, que para efectos de cálculo será considerada la máxima carga. El Tecele soportará una canasta como se muestra en la figura 2.1, donde serán acomodadas las piezas.

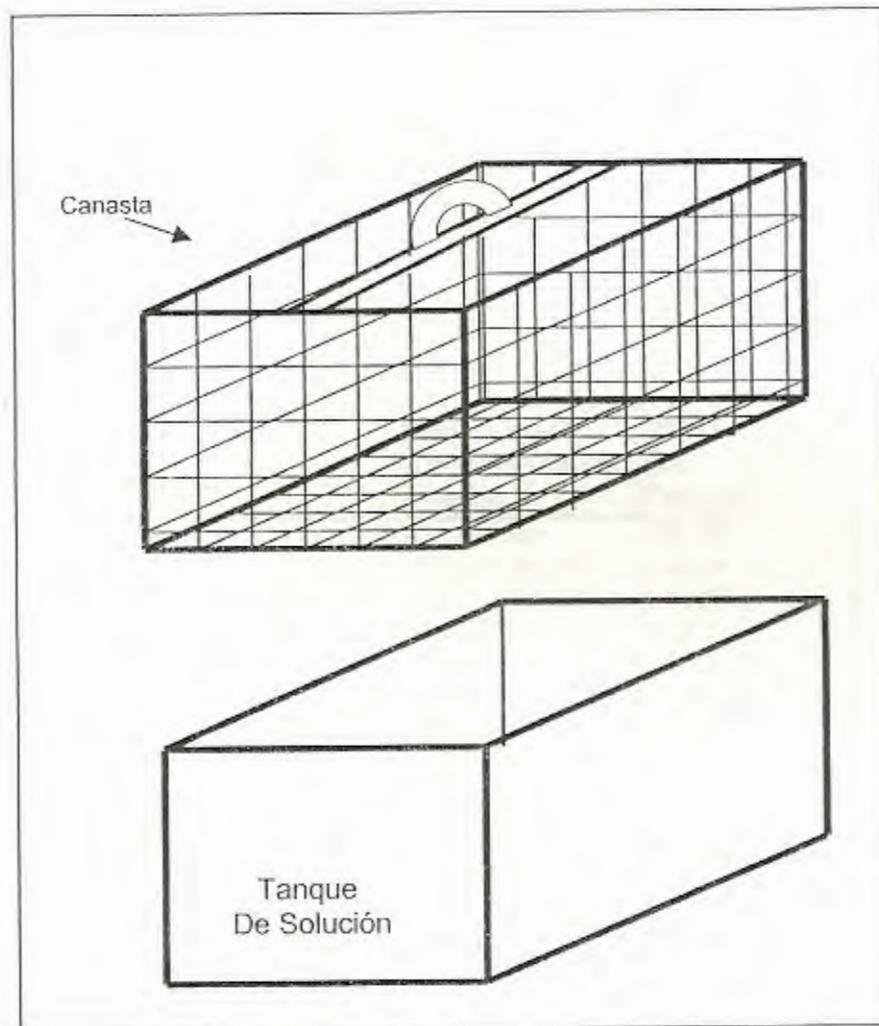


FIGURA 2.1 CANASTA PARA PROCESO DE DECAPADO

En la Tabla 1 se estipula los parámetros considerados para determinar la demanda de vapor en el proceso de Decapado.

Equipo	Fluido	Parámetros de trabajo	
Tanque 1	Solución Jabonosa	Circulación Presión de vapor Presión de retorno Temp ambiente Temp de Trabajo Presión	natural 100psi 10 psi 30 C 212 F Constante
Tanque 2	Solución Jabonosa	Circulación Presión de vapor Presión de retorno Temp ambiente Temp de Trabajo Presión	natural 100 psi 10 psi 30 C 100 C constante
Tanque 3	Agua	Circulación Presión de vapor Presión de retorno Temp entrada Temp de Trabajo Presión	natural 100 psi 10 psi 30 C 80 C Constante
Tanque 4	Solución de Ácido Sulfúrico	Circulación Presión de vapor Presión de retorno Temp. Entrada Temp de Trabajo Presión	natural 100 psi 10 psi 30 C 65 C Constante
Tanque 5	Solución Alcalina	Circulación Presión de vapor Presión de retorno Temp de entrada Temp de trabajo presión	natural 100 psi 10 psi 30 C 100 C Constante

TABLA 1 PARÁMETROS PARA PROCESO DE DECAPADO

Adicionalmente a determinar el requerimiento de vapor de estos tanques, también se determinará la demanda de vapor de un tanque en donde se realizará el secado, aprovechando la acumulación de piezas que se produce

realizará el secado, aprovechando la acumulación de piezas que se produce en la canasta antes mencionada. Se hará ingresar aire forzado generado por un ventilador, el cual es calentado por medio de un serpentín.

En los dos tanques de solución jabonosa y en el tanque de solución de Ácido sulfúrico habrán unos extractores de aire que evitaren la contaminación del ambiente circundante y deberán ser considerados para determinar las pérdidas de energía.

No se consideran para la determinación de la demanda de vapor tanques en los que se realizará enjuague a la temperatura ambiente. Uno de estos baños se encuentra antes de el baño con solución de ácido sulfúrico, y dos más antes de la solución alcalina como se aprecia en la distribución de tanques en la figura 2.2.

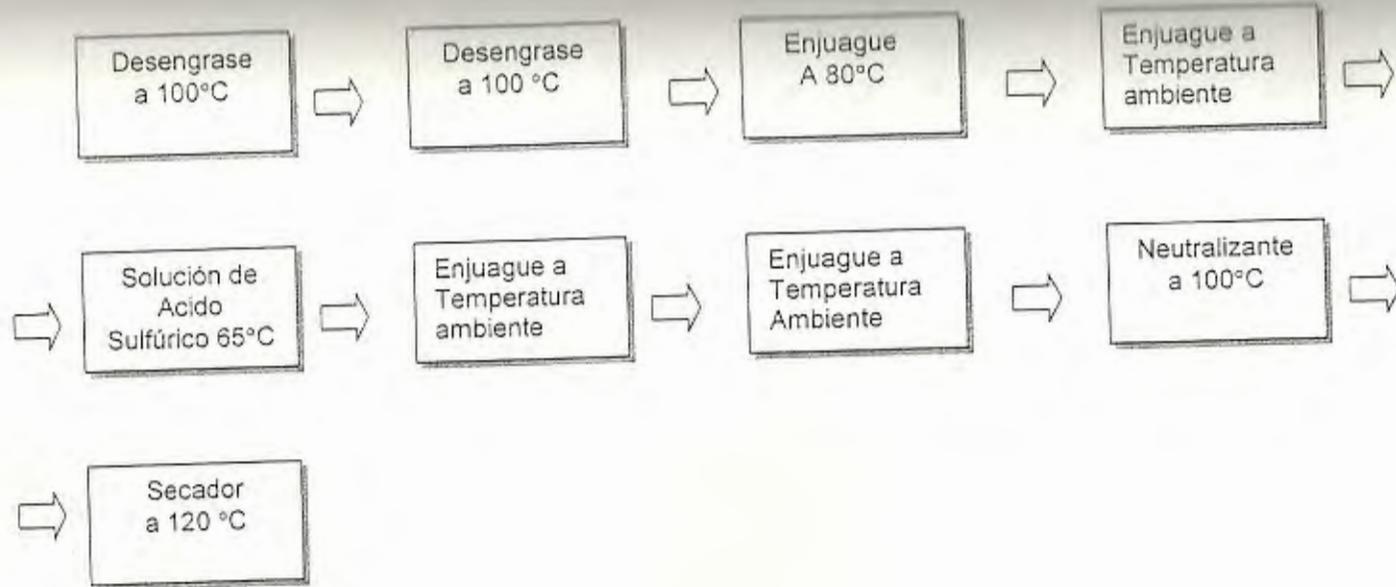


FIGURA 2.2 DISPOSICIÓN DE TANQUES EN PROCESO DE DECAPADO

### Intercambiador de calor

Los serpentines son elementos de transferencia de calor que se encuentran sumergidos en el líquido a ser calentado, evaporado y concentrado. Estos tipos de serpentines son encontrados en prácticamente en todas las industrias que utilizan vapor. Son usados en procesos de calentamiento de agua o uso doméstico, vaporización natural de gases como propano y oxígeno, concentración en procesos de fluidos como el azúcar, y calentamiento de aceite combustible para fácil transferencia y atomización. Estos serpentines son del tipo denominado "Embossed Coils" o "Serpentines Estampados" figura 2.3. Este tipo de serpentines son utilizados en tanques abiertos para calentamiento de agua o químicos.

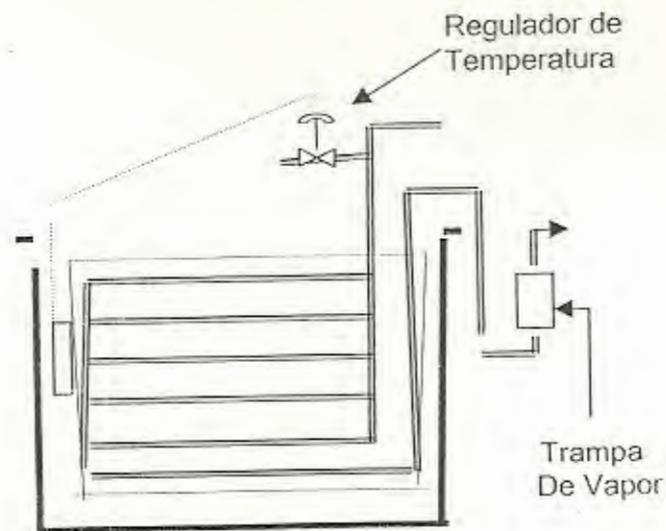


FIGURA 2.3 ESQUEMA DE SERPENTINES ESTAMPADOS

### Determinación de la Potencia Requerida

Se determinará la potencia requerida en el tanque 1. Se establecen los siguientes parámetros en los que se va a fundamentar el cálculo:

- El volumen del tanque es de  $6,5 \text{ m}^3$  (rebose).
- El tanque se encontrará lleno a un 80% de su capacidad.
- Las paredes del tanque tienen un espesor de 0,008 metros con las dimensiones mencionadas en este capítulo
- El fluido es una solución jabonosa tiene una densidad de  $1,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- El acero tiene una densidad de  $7,87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Con estos datos se determina inicialmente la masa de los factores influyentes como son la del tanque, del fluido y de las piezas que van a ser sumergidas.

Para el tanque:

$$\begin{aligned}
 m_t &= \rho \times V \\
 &= 7,87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times (2,5 \times 1 \times 0,008 \times 4 + 2,5 \times 2,5 \times 0,008) \\
 m_t &= 1023 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Para el fluido:

$$\begin{aligned} m_f &= \rho \times V \\ &= 1,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times (0,8 \times 6,5 \text{ m}^3) \\ m_f &= 6240 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Para las piezas:

$$m_p = 500 \text{ kg}$$

Este es el máximo peso que soporta el tecele.

### **Cálculo del requerimiento para el sistema**

De acuerdo a los parámetros de trabajo que se estipulan en la tabla 1, se determina el calor requerido para elevar la temperatura del sistema hasta 100 °C. Será la suma de:

Para el tanque:

$$Q_t = m_t C_{p_t} (T_s - T_o) \quad (\text{ec. 2.1})$$

Donde:

$Q_t$ : Calor para llevar el tanque a temperatura del sistema

$m_t$ : masa del tanque

$C_{p_t}$ : Capacidad calorífica del acero

$T_s$ : Temperatura final del sistema

$T_o$ : Temperatura ambiente.

Luego:

$Cp_l$ : 447 J / kg °C

$T_s$ : 100 °C

$T_o$ : 30 °C

El calor necesario para el tanque será:

$$\begin{aligned} Q_t &= (1023)(447)(100-30) \\ &= 15989 \text{ KJ} \end{aligned}$$

Para el fluido:

Se considera una solución jabonosa que servirá de desengrasante. El tanque se encontrará lleno a un 80% de la capacidad para evitar el rebose, entonces:

$$Q_t = m_f Cp_f (T_s - T_o) \quad (\text{ec. 2.2})$$

Siendo

$Q_t$ : Calor para el fluido

$m_f$ : masa del fluido

$Cp_f$ : Calor específico del fluido

$T_s$ : Temperatura final del sistema

$T_o$ : Temperatura ambiente

Luego,

$m_f$ : 6240 kg

$C_{p_f}$ : 540 J / Kg °C

El calor para el fluido

$$Q_f = (6240)(540)(70) \\ = 235872 \text{ KJ}$$



Para el producto:

La temperatura a la que van a ser elevadas las piezas que van a ser tratadas, debido al tiempo que permanecerán en el tanque que será 12 minutos, se asumirá que llegará hasta 40 °C. La carga máxima a tratar será la máxima que soporte el tecele que es de 0,5 Toneladas.

$$Q_p = m_p C_{p_p} (T_p - T_o) \quad (\text{ec. 2.3})$$

Siendo

$Q_p$ : Calor para las piezas

$m_p$ : Masa de las piezas

$C_{p_p}$ : Calor específico del acero

$T_p$ : Temperatura a la cual va a llegar las piezas

$T_o$ : Temperatura ambiente

Luego,

$$m_p: 500 \text{ Kg}$$

$$C_{p_p}: 447 \text{ J / Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_p: 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_o: 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El calor requerido para las piezas será:

$$\begin{aligned} Q_p &= (500)(447)(40-30) \\ &= 2335 \text{ KJ} \end{aligned}$$

Se tendrá que la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura del sistema a  $100^\circ\text{C}$ , será la suma de:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Total}} &= Q_t + Q_f + Q_p \\ &= 270219 \text{ KJ} \\ &= 256132 \text{ Btu} \end{aligned}$$

#### Cálculos de pérdidas de calor

El calor que se pierde al medio ambiente se puede dividir en :

- Pérdida a través de las paredes del tanque
- Pérdidas de calor a través del piso
- Pérdida a través de la superficie

Las pérdidas de calor por el piso se las considerará despreciable, sugiriendo colocar los tanques sobre materiales aislantes. Luego la ecuación que permite analizar el flujo de calor es:

$$Q'' = h \Delta T$$

Pérdidas por las paredes del tanque:

Se considera al aire con una velocidad cero por encontrarse el proceso en un lugar cerrado. Se determina el valor del coeficiente convectivo por la siguiente fórmula:

$$h = 0,19 (T_i - T_o)^{1/3}; Gr Pr > 10^9 \quad (\text{ec.2.4})$$

donde:

- $T_i$ : temperatura interior
- $T_o$ : temperatura exterior
- $Pr$ : Número de Prandtl
- $Gr$ : Número de Grassoiff

Este último número se lo evalúa bajo la siguiente ecuación:

$$Gr = g \beta (T_i - T_o) L^3 / \nu^2 \quad (\text{ec. 2.4.a})$$

donde:

g: aceleración de gravedad 9.8 m/s (30,44 ft/s<sup>2</sup>)

$\beta$ : coeficiente de expansión térmica (1/°R)

$\Delta t$ : Diferencia de temperatura

L: Longitud de pared

$\nu$ : viscosidad cinemática

Las propiedades del aire medidas a 100 °F:

$$Pr = 0,706$$

$$\nu = 0,6482 \text{ ft}^2/\text{h}$$

Luego:

$$g: 30,44 \text{ ft} / \text{s}^2$$

$$T_i: 212 \text{ °F}$$

$$T_e: 86 \text{ °F}$$

$$L: 3,28 \text{ ft}$$

El coeficiente de expansión térmica para el aire es igual al recíproco de la temperatura absoluta, entonces:

$$\begin{aligned} \beta &= 1/ T_{\text{abs}} \\ &= 1/ ( 86 + 460 ) \\ &= 1,83 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

El número de Grassofoff da:

$$Gr = \frac{(30,44 \times 3600 \times 2)(1,83 \times 10^{-3})(212-86)(3,28)^3}{(0,6482)^2}$$

$$Gr = 7,63 \times 10^9$$

Así obtenemos

$$Gr \times Pr = 1,62 \times 10^9 > 10^9$$

Lo que permite hacer uso de la ecuación 2.4, de esta forma considerando la temperatura interior a 212 °F se tiene que el flujo de calor a través de las paredes es:

$$\begin{aligned} Q'' &= h \times \Delta T \\ &= 0,19 (212 - 86)^{1/3} (126) \\ &= 23,7 \text{ Btu/h ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{lat}} &= Q'' \times A_{\text{lat}} \\ &= (23,7)(107,6) \\ &= 2549,74 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Pérdidas por la parte superior:

Se debe considerar que por la parte superior se realiza una extracción de gases por medio de los ductos. En la figura 2.4 se observa el sistema de ventilación. La extracción se estima a una velocidad de 5 m/s (16,4 ft/s) y evitará que se produzcan acumulación de gases por encontrarse el proceso en un ambiente cerrado.

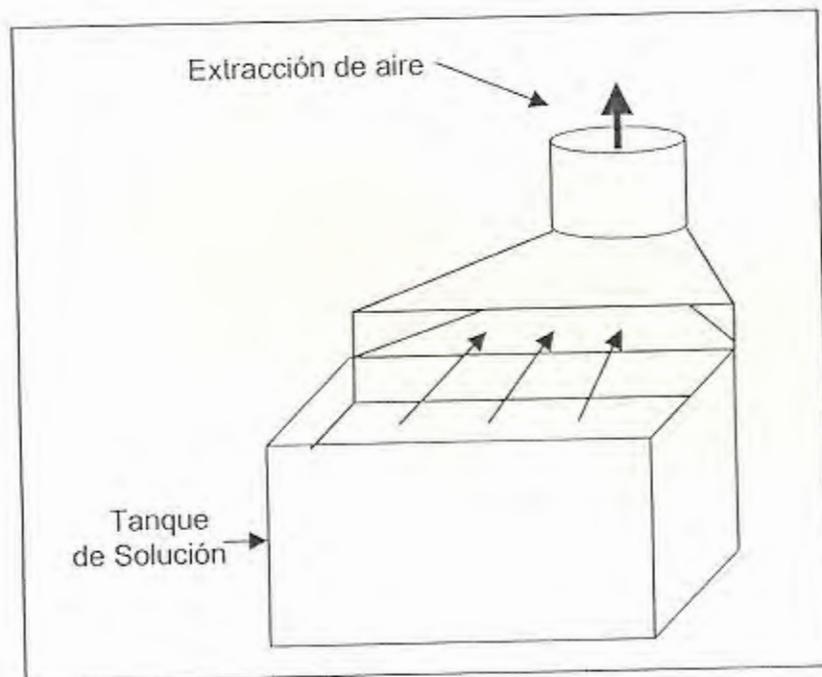


FIGURA 2.4 EXTRACCIÓN DE GASES EN PROCESO DE DECAPADO

El valor del coeficiente de convección es ahora

$$h = Nu \times k_{\text{aire}} / L \quad (\text{ec. 2.5})$$

donde:

Nu: Número de Nusselt

$k_{\text{aire}}$ : Conductividad térmica del aire

L: Longitud de pared

El valor del número de Nusselt para convección forzada se evalúa de la siguiente forma:

$$Nu = 0,0296 Re^{4/5} Pr^{1/3}; 0,6 < Pr < 60 \quad (\text{ec. 2.5.a})$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

Pr: Número de Prandtl

Siendo.

$$Re = V \times L / \nu \quad (\text{ec. 2.5.b})$$

Donde:

V: velocidad del aire (ft/s)

$\nu$ : viscosidad cinemática del aire a 100 ° F (ft<sup>2</sup>/s)

L: Largo del tanque

Las propiedades termodinámicas del aire a esta temperatura son.

$$k = 0,026 \text{ w / m } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Pr} = 0,707$$

Ahora, reemplazando los valores en la ecuación 2.5.b tenemos:

$$\text{Re} = \frac{(16,4 \times 3600)(8,2)}{(0,6482)}$$

$$\text{Re} = 7,46 \times 10^5$$

Ahora:

$$\text{Nu} = (0,0296) (7,46 \times 10^5)^{4/5} (0,707)^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 1316,1$$

Entonces el coeficiente de convección será:

$$h = \frac{(1316,1)(0,026)}{(8,2)}$$

$$h = 10,51 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

El área total de la superficie es  $6,25 \text{ m}^2$ , siendo el calor perdido en la superficie:

$$Q_{\text{sup}} = h \Delta T A$$

$$= (10,51) (70) (6,25)$$

$$= 4600 \text{ w}$$

$$Q_{\text{sup}} = 15695 \text{ Btu / h}$$

La pérdida total sería:

$$Q_{\text{per}} = Q_{\text{lat}} + Q_{\text{sup}}$$

$$Q_{\text{per}} = 18244 \text{ Btu / h}$$

#### Determinación del vapor requerido

El calor requerida para llegar a la temperatura establecida en el proceso en 1 hora, se determina por la siguiente fórmula:

$$Q' = m' \times (h_0 - h_f)$$

Donde:

$Q'$ : Potencia requerida

$m'$ : flujo de masa de vapor

$h_0$ : entalpía a la presión de entrada a 100 psi.

$h_f$ : entalpía a la presión de salida a 10 psi.

$$Q = Q_{\text{total}} + Q_{\text{per}}$$

$$= 263330 \text{ Btu/h}$$

de las tablas de vapor tenemos:

$$h_0 = 1189 \text{ Btu/lb}$$

$$h_f = 1179 \text{ Btu/lb}$$

por lo que el vapor requerido para llevar el sistema a la temperatura del proceso:

$$m' = (263330) / (29)$$

$$= 9248 \text{ lb/h}$$

$$= 4203 \text{ Kg/h}$$

#### **Demanda de vapor en régimen de trabajo**

En el momento de que el sistema llega a la temperatura del proceso, se debe evaluar la demanda de vapor para el régimen de trabajo. En el mismo se debe considerar el calor requerido para mantener la temperatura en el momento que se introducen las piezas durante 12 minutos, y además todas las pérdidas que ya fueron calculadas. Entonces tenemos:

$$Q_{\text{reg}} = Q_{\text{piezas}} + Q_{\text{per}}$$

Ahora:

$$Q_{\text{piezas}} = Q'_{\text{piezas}} / t$$

Donde t es el tiempo que permanecen las piezas en el tanque en horas:

$$Q_{\text{piezas}} = ( 2118 ) / ( 12/60 )$$

$$= 10590 \text{ Btu/h}$$

Entonces tenemos:

$$Q_{\text{reg}} = 10590 + 18244$$

$$= 26285 \text{ Btu/h}$$

determinamos el flujo de vapor requerido para mantener la temperatura de régimen de trabajo

$$m'_{\text{reg}} = (26285) / (29)$$

$$= 906,3 \text{ lb/h}$$

$$= 412 \text{ kg/h}$$

Con el propósito de unificar el diseño de los elementos de transferencia de calor y para determinar la demanda de vapor se asume el mismo requerimiento para los 5 tanques, los cuales tienen similares condiciones de trabajo.

#### **Requerimiento para tanque de secado**

Luego de que las piezas han pasado por el proceso de Decapado, antes de que pasen al proceso de pintura, es necesario reducir el porcentaje de humedad que se asume es del 3%, a cero ya que la humedad es

indeseable. Se hace pasar aire forzado por el tanque como se observa en la figura 2.5, por un serpentín de vapor elevando la temperatura dentro del mismo a 120 °C.

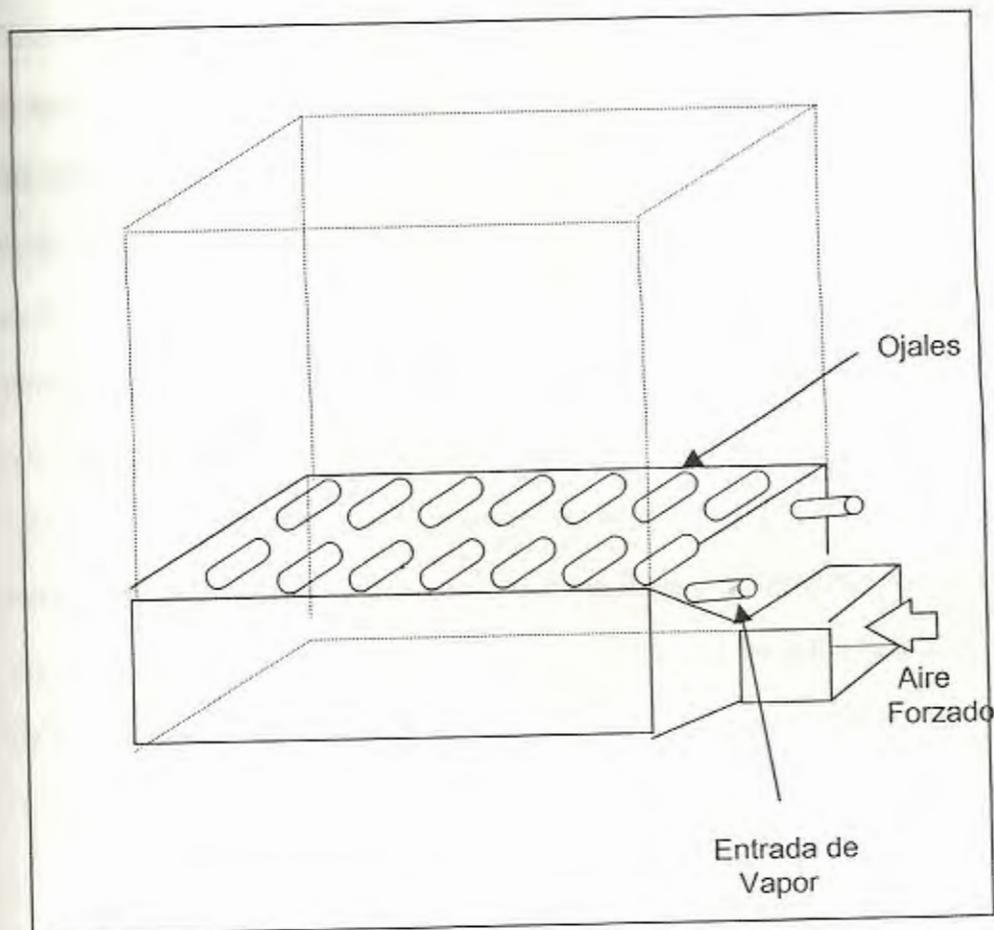


FIGURA 2.5 TANQUE DE SECADO EN PROCESO DE DECAPADO

### Calor sensible para el agua

Durante el proceso de calentamiento el agua recibe calor sensible hasta alcanzar la temperatura previa al inicio de saturación adiabática del aire. Esta temperatura depende de las propiedades que tenga el aire atmosférico al entrar a la cámara de secado y es cercana a la temperatura de bulbo húmedo, se la determina basado en la diferencia entre la temperatura de bulbo seco y la depresión existente por la humedad relativa que tenga el ambiente a la cual llega. El aire atmosférico que entra al secador tiene una temperatura de 30 °C (86 °F) y una humedad relativa de 5%, al atravesar el intercambiador de calor o serpentín se produce un calentamiento del aire y una disminución en su humedad relativa. La temperatura de secado es la temperatura de bulbo seco, con lo que de la tabla psicrométrica se obtiene una temperatura de bulbo húmedo de 66 °C (152°F). Se considera la masa de las piezas como la máxima carga que puede soportar el tecele. El calor requerido será determinado por la ecuación.

$$Q_A = H_o m_p C_{pA} (T_{Bh} - T_o) \quad (\text{ec. 2.6})$$

Donde:

$H_o$ : Humedad inicial

$m_p$ : masa de las piezas a secar

$C_{pA}$ : Calor específico del agua

$T_{Bh}$ : Temperatura de bulbo húmedo

$T_o$ : Temperatura ambiente

Luego:

$H_o$ : 0,03 lbm agua/lbm piezas

$m_p$  = 1100 lbm

$C_{pA}$  = 1 Btu/lbm agua $^{\circ}$ F

$T_{Bh}$  = 152  $^{\circ}$ F

$T_o$  = 86  $^{\circ}$ F

El calor sensible para el agua será

$$\begin{aligned} Q_A &= (0,03)(1100)(1)(152 - 86) \\ &= 2178 \text{ Btu} \end{aligned}$$

#### Cálculo de calor sensible para las piezas

Hay que considerar que la temperatura con la que ingresan las piezas al secador no es a temperatura ambiente, es por esto que se asume que al salir del último tanque de solución alcalina, las piezas se encuentran a 60  $^{\circ}$ C. Las piezas serán llevadas a la temperatura de bulbo húmedo, la cantidad de calor será determinado por la siguiente ecuación:

$$Q_p = m_p C_{pp} (T_{Bh} - T_p) \quad (\text{ec. 2.7})$$

Donde:

$Q_p$ : Calor para las piezas

$C_{p_p}$ : Capacidad calorífica del acero

$T_p$ : Temperatura con la que ingresan las piezas

Luego:

$$C_{p_p} = 447 \text{ J /kg}^\circ\text{C}$$

$$T_p = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

El calor sensible para las piezas es:

$$Q_p = (500)(447)(66 - 60)$$

$$= 1341 \text{ KJ}$$

$$= 1271 \text{ Btu}$$

#### **Calor latente para el contenido de humedad en las piezas**

La humedad final que se requiere en las piezas debe ser cero. El proceso de vaporización de la humedad contenido en la superficie de las piezas empezará a la temperatura de bulbo húmedo, el cálculo de este requerimiento de calor vendrá de la siguiente ecuación:

$$Q_v = m_A h_{fgp} (H_o - H_f) \quad (\text{ec. 2.8})$$

Donde:

$m_A$ : masa de agua

$h_{fgp}$ : entalpía de vaporización

El valor de la entalpía de vaporización se la evalúa a la temperatura de bulbo húmedo y tiene un valor de 1007 Btu/lbm agua.

$$\begin{aligned} Q_v &= (33)(1007)(0,03) \\ &= 996,6 \text{ Btu} \end{aligned}$$

El tiempo que las mismas permanecerán en el tanque será de 50 minutos, tiempo en el que demorará otra canasta para pasar todas los tanques del proceso. Entonces el calor que requiere el proceso para eliminar la humedad de las piezas es:

$$\begin{aligned} Q_{\text{proc sec}} &= Q_s + Q_v + Q_p \\ &= 2178 + 1341 + 996,93 \\ &= 4162,6 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Luego en 50 minutos:

$$\begin{aligned} Q'_{\text{total}} &= Q_{\text{proc sec}} / t \\ &= 4162,6 / (50/60) \\ &= 4995 \text{ Btu / h} \end{aligned}$$

### Pérdidas de calor

El calor que se pierde a través de la cámara de secado como es por las paredes laterales, puede estimarse que representa un 25%, por lo que el calor requerido para retirar la humedad de las piezas es:

$$\begin{aligned} Q'_{\text{real}} &= Q'_{\text{total}} \times 1,25 \\ &= 6244 \text{ Btu / h} \end{aligned}$$

determinamos el requerimiento de vapor para mantener la temperatura en régimen de trabajo:

$$\begin{aligned} m'_{\text{secado}} &= (6244) / (29) \\ &= 231,26 \text{ lb/h} \\ &= 105,12 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

El requerimiento de vapor para el proceso de Decapado es un dato básico para el dimensionamiento del caldero, y será la suma del requerimiento de los 5 tanques donde se requiere vapor más el tanque de secado. Por lo que:

$$\begin{aligned} m'_{\text{total}} &= 5 \times m'_{\text{reg}} + m'_{\text{secado}} \\ &= 5 \times (412) + 105,12 \\ &= 2165,12 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

### Pérdidas de calor

El calor que se pierde a través de la cámara de secado como es por las paredes laterales, puede estimarse que representa un 25%, por lo que el calor requerido para retirar la humedad de las piezas es:

$$\begin{aligned} Q_{\text{real}} &= Q_{\text{total}} \times 1,25 \\ &= 6244 \text{ Btu / h} \end{aligned}$$

determinamos el requerimiento de vapor para mantener la temperatura en régimen de trabajo:

$$\begin{aligned} m'_{\text{secado}} &= (6244) / (29) \\ &= 231,26 \text{ lb/h} \\ &= 105,12 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

El requerimiento de vapor para el proceso de Decapado es un dato básico para el dimensionamiento del caldero, y será la suma del requerimiento de los 5 tanques donde se requiere vapor más el tanque de secado. Por lo que:

$$\begin{aligned} m'_{\text{total}} &= 5 \times m'_{\text{reg}} + m'_{\text{secado}} \\ &= 5 \times (412) + 105,12 \\ &= 2165,12 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

## FOSFATADO

A diferencia del proceso de Decapado, este proceso es más sencillo debido a que como comentamos anteriormente es más económico, no se consigue un buen acabado. El proceso funciona cuando se hace pasar las piezas a través de un corredor cerrado, en el mismo se encuentran rociadores, Figura 2.6, que provienen de tanques de solución jabonosa, de enjuague y de una solución de fosfato que permitirá un acabado en las piezas con lo que tendrán una mejor adherencia. En la Figura 2.7 se puede apreciar la disposición de los tanques.

También se hará una extracción de gases para evitar la contaminación el ambiente cerrado. Serán utilizados, para llegar a la temperatura requerida los mismos "serpentes estampados".

Los tanques tienen una capacidad de 10000 litros (rebose) con una dimensión de 2,5 metros de lado por una altura de 1,60 metros. Las piezas son guiadas por cadenas transportadoras de donde son colgadas. En la Tabla 2 se aprecia los parámetros considerados para determinar la demanda de vapor.

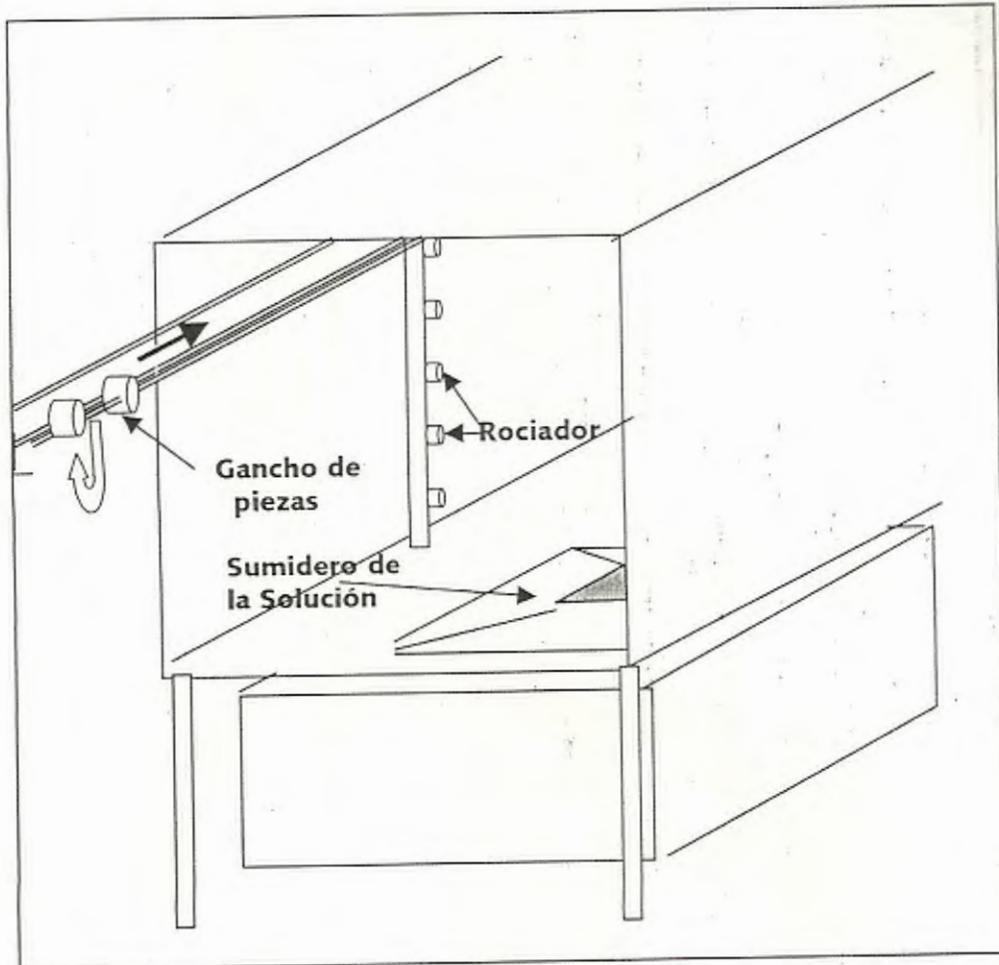


FIGURA 2.6 ROCIADORES EN PROCESO DE FOSFATADO

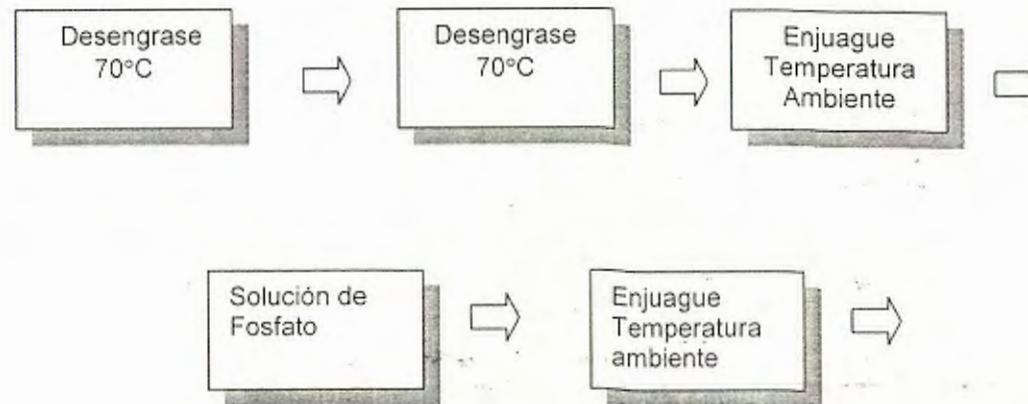


FIGURA 2.7 DISPOSICIÓN DE TANQUES EN PROCESO DE FOSFATADO



dimensión de 12 metros de largo, por 4.5 metros de ancho y una altura de 2,5 metros. La temperatura del cuarto se mantendrá a 76 °C.

Equipos	Fluido	Parámetros de trabajo	
Tanque 1	Solución Jabonosa	Circulación Presión de vapor presión de retorno Temp ambiente Temp de trabajo Presión	Natural 100 psi 10 psi 30 C 60 C constante
Tanque 2	Solución Jabonosa	Circulación Presión de vapor presión de retorno Temp ambiente Temp de trabajo Presión	Natural 100 psi 10 psi 30 C 60 C constante
Tanque 3	Solución de Fosfato	Circulación Presión de vapor presión de retorno Temp ambiente Temp de trabajo Presión	Natural 100 psi 10 psi 30 C 60 C constante

TABLA 2 PARAMETROS PARA PROCESO DE FOSFATADO

Determinación de la demanda de vapor

### Determinación de la demanda de vapor

Se establecen los siguientes parámetros para la determinación e la demanda requerida:

- El volumen del tanque es de  $10 \text{ m}^3$  (rebose).
- El tanque se encontrará lleno a un 90% de su capacidad.
- Las paredes del tanque tienen un espesor de 0,008 metros.
- El fluido es una solución jabonosa tiene una densidad de  $1,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- El acero tiene una densidad de  $7,87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Se determina al masa del tanque y del fluido a ser calentado:

*Para el tanque:*

$$m_t = \rho \times V$$

$$= 7,87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 (2,5 \times 1,6 \times 0,008 \times 4 + 2,5 \times 2,5 \times 0,008)$$

$$m_t = 1400 \text{ Kg}$$

*Para el fluido:*

$$m_f = \rho \times V$$

$$= 1,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times (0,9 \times 10 \text{ m}^3)$$

$$m_f = 10800 \text{ Kg}$$

### Cálculo de requerimiento de calor del sistema

De acuerdo a los parámetros de trabajo que se estipulan en la tabla 2, se determina el calor requerido:

#### Para el tanque:

En la Ec. (2.1) se reemplazan los siguientes parámetros:

$$C_{p_t}: 447 \text{ J / kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_s: 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_o: 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El calor necesario para el tanque será:

$$\begin{aligned} Q_t &= (1400)(447)(70-30) \\ &= 25032 \text{ KJ} \end{aligned}$$

#### Para el fluido:

Se reemplaza en la Ec.( 2.2 ) los siguientes datos:

$$m_f: 10800 \text{ kg}$$

$$C_{p_f}: 540 \text{ J / Kg } ^\circ\text{C}$$

El calor para el fluido es:

$$\begin{aligned} Q_f &= (10800)(540)(40) \\ &= 233280 \text{ KJ} \end{aligned}$$

En este proceso, a diferencia del proceso de Decapado, no se consideran las piezas porque no son introducidas. Es por esto que la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura del sistema a 70 °C será la suma de.

$$\begin{aligned}Q_{\text{Total}} &= Q_t + Q_r \\ &= 25032 + 233280 \\ &= 258312 \text{ KJ} \\ &= 244845 \text{ Btu}\end{aligned}$$

#### Cálculos de pérdidas de calor

Igual que en el proceso de Decapado, se va a calcular las pérdidas que ocurren por las paredes del tanque y a través de la superficie.

Para determinar el coeficiente convectivo, se utilizará la ecuación 2.4, y a su vez el número de Grassoﬀ: se lo determinará con ecuación 2.4.a, donde a diferencia del anterior proceso, varían los siguientes parámetros:

Ti: 158 °F

L: 5,25 ft

El número de Grassofoff da:

$$Gr = \frac{(30,44)(3600)^2(1,83 \times 10^{-3})(158 - 86)(5,25)^3}{(0,6482)^2}$$

$$Gr = 1,79 \times 10^9$$

Así obtenemos

$$Gr \times Pr = 1,26 \times 10^9 > 10^9$$

Por lo que si podemos utilizar la ecuación mencionada. Ahora:

$$\begin{aligned} Q'' &= h \times \Delta T \\ &= 0,19 (158 - 86)^{1/3} (72) \\ &= 56,31 \text{ Btu/h ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{lat} &= Q'' \times A_{lat} \\ &= (56,31)(172,13) \\ &= 9692,8 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

### Pérdida por la parte superior

También se debe considerar una extracción de gases. Se determina el coeficiente de convección de la ecuación 2.5, a su vez el Número de Nusselt de la ecuación 2.5.a y el número de Reynolds de la ecuación 2.5.b. Como

se evalúa bajo los mismos parámetros, el coeficiente convectivo es el mismo que el obtenido en la pérdida por la parte superior del proceso de Decapado. Entonces:

$$h = 10,51 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

El área total de la superficie es de 6,25 m<sup>2</sup>, siendo el calor perdido en este caso:

$$\begin{aligned} Q_{\text{sup}} &= h \Delta T A \\ &= (10,51) (40) (6,25) \\ &= 2627 \text{ w} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{sup}} = 8965 \text{ Btu / h}$$

La pérdida total sería:

$$\begin{aligned} Q_{\text{per}} &= 1.1 \times (Q_{\text{lat}} + Q_{\text{sup}}) \\ Q_{\text{per}} &= 20522 \text{ Btu / h} \end{aligned}$$

#### Determinación de la Potencia del equipo

El calor requerido para llegar a la temperatura establecida en 1 hora es:

$$Q' = m' \times (h_0 - h_f)$$

Donde:

$Q'$ : Potencia requerida

$m'$ : flujo de masa de vapor

$h_0$ : entalpía a la presión de entrada de 100 psi.

$h_f$ : entalpía a la presión de salida de 10 psi.

$$\begin{aligned} Q' &= Q_{\text{total}} + Q_{\text{per}} \\ &= 265367 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

de las tablas de vapor tenemos:

$$h_0 = 1189 \text{ Btu/lb}$$

$$h_f = 1179 \text{ Btu/lb}$$

por lo que el vapor requerido para llevar el sistema a la temperatura del proceso:

$$\begin{aligned} m'' &= (272830) / (29) \\ &= 9407,3 \text{ lb/h} \\ &= 4276 \text{ Kg/h} \end{aligned}$$

### **Demanda de vapor en régimen de trabajo**

Se calcula la demanda de vapor en régimen de trabajo en base al calor requerido para mantener la temperatura de 70 °C. Entonces:

$$Q_{reg} = 20522 \text{ Btu/h}$$

determinamos el flujo de vapor requerido para mantener la temperatura de régimen de trabajo del tanque 1:

$$\begin{aligned} m_{reg} &= (20522) / (29) \\ &= 707 \text{ lb/h} \\ &= 321 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Se asume el mismo requerimiento para los otros dos tanques del proceso, con la finalidad de unificar el diseño de los elementos de transferencia de calor.

### **Requerimiento para cuarto de secado**

A diferencia del proceso de Decapado, con el propósito de aprovechar que las piezas son colgadas en una cadena transportadora, se diseña un cuarto de secado como se aprecia en la figura 2.8, en la que se tendrá una temperatura de 120 °C (248 °F), que es obtenida al hacer pasar aire

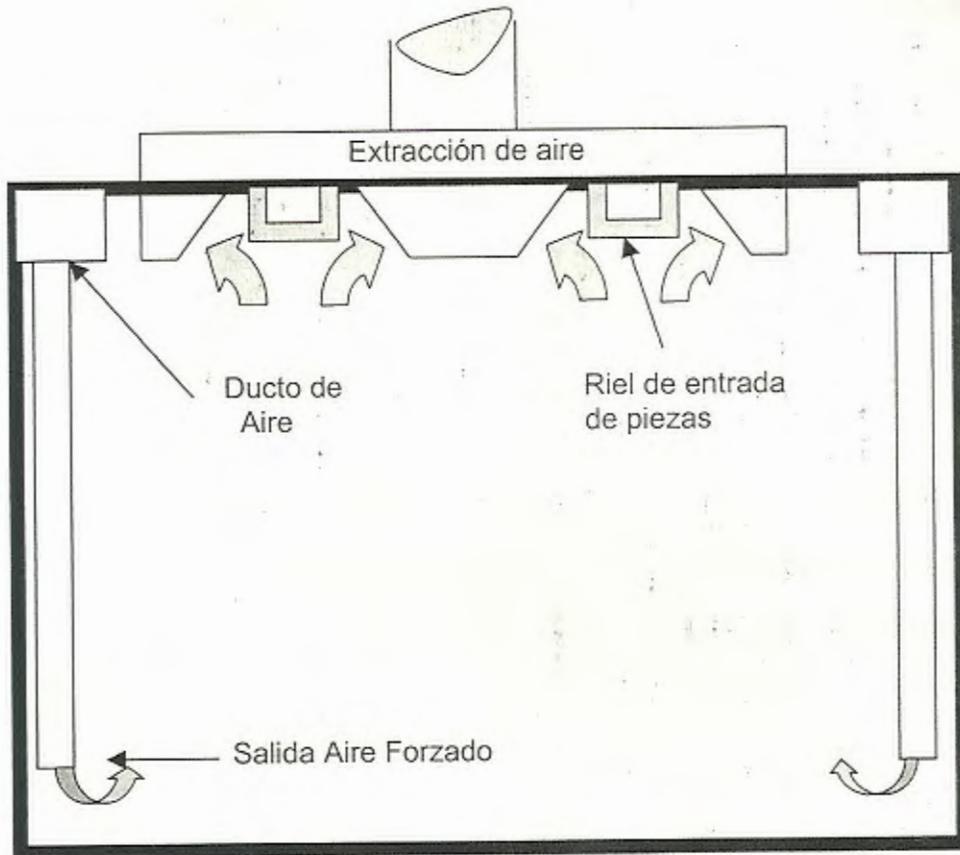


FIGURA 2.8 CÁMARA DE SECADO DEL ÁREA DE FOSFATADO

forzado por un serpentín de vapor y hacerlo circular en el interior del cuarto de secado. El porcentaje de humedad que se desea eliminar es del 3%.

La masa que se va a considerar que esta rotando en el interior del cuarto va a ser de 100 kilos, en de 1,5 minutos, tiempo que le tardará a cada pieza recorrer por todo el cuarto. Las piezas entrarán al mismo a una temperatura de 40 °C.

### **Calor sensible para el agua**

Como son consideradas las mismas condiciones del aire atmosférico y la misma temperatura de secado que en el proceso de Decapado, se obtiene la misma temperatura de Bulbo húmedo. El calor requerido será determinado por la ecuación 2.6, ahora:

$$m_p = 220 \text{ lbm}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} Q_A &= (0,03)(220)(1)(152 - 86) \\ &= 435,6 \text{ Btu} \end{aligned}$$

### Calculo de calor sensible para las piezas

Las piezas serán llevadas de los 40 °C a la temperatura de bulbo húmedo.

La cantidad de calor requerido estará dado por la ecuación 2.7. Entonces:

$$T_p = 40 \text{ °C}$$

El calor sensible para las piezas será:

$$\begin{aligned} Q_p &= (100)(447)(66 - 40) \\ &= 1162,2 \text{ KJ} \\ &= 1101,6 \text{ Btu} \end{aligned}$$

### Calor latente para el contenido de humedad en las piezas

La humedad que se requiere debe ser cero. El requerimiento de calor estará dado por la ecuación 2.8. Entonces:

$$\begin{aligned} Q_v &= (6,6)(1007)(0,03) \\ &= 199,38 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Entonces el calor que requiere el proceso para eliminar la humedad de las piezas es:

$$\begin{aligned} Q_{\text{proc sec}} &= Q_A + Q_v + Q_p \\ &= 435,6 + 199,3 + 1101,6 \\ &= 1718 \text{ Btu} \end{aligned}$$

Luego en 1,5 minutos:

$$\begin{aligned} Q'_{\text{total}} &= Q_{\text{proc sec}} / t \\ &= 1718 / (1,5/60) \\ &= 64438 \text{ Btu / h} \end{aligned}$$

determinamos el requerimiento de calor para mantener la temperatura de trabajo:

$$\begin{aligned} m'_{\text{secado}} &= (64438) / (29) \\ &= 1656,5 \text{ lb/h} \\ &= 1010 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

el requerimiento de vapor para el proceso de Fosfatado es la suma del requerimiento de los tres tanques y del cuarto de secado, por lo que:

$$\begin{aligned} m'_{\text{total}} &= 3 \times m'_{\text{reg}} + m'_{\text{secado}} \\ &= 3 \times (321) + 1010 \\ &= 2060 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

## 2.2.2 Selección de la caldera

Se establecerá las principales características de la caldera, en función de los requerimientos.

Para la potencia requerida es necesario una caldera de tipo de tubos de fuego (Piro-tubulares) debido a que la presión de trabajo se establece en 100 psi aproximadamente (baja presión).

Las calderas industriales de amplia aceptación para producir vapor saturado con presiones de hasta 250 psi, son calderas de 3 o 4 pasos; en nuestro proyecto seleccionaremos de 4 pasos de tubos rectos, horizontal por su facilidad de mantenimiento y disponibilidad de espacio.

En cuanto al tipo de combustible a utilizar, se establecerá en el capítulo 4 en la que se hará la selección en base a costos. Se seleccionará una caldera con quemador dual, de tal forma que se cuente con un combustible principal, dejando una alternativa basado en el requerimientos que puedan existir.

El requerimiento Total de vapor es de 4225 Kg/ hr. Si 1 c.c genera 15,65 kg/hr, entonces se requiere 270 c.c. Si considera pérdidas en la tubería y durante el proceso de un 30 %, se tiene:

$$270 \text{ c.c.} \times 1.3 = 350 \text{ c.c.}$$

Con la finalidad de cubrir la demanda se contará con 2 calderas, uno de 200 HP y otro de 150 HP, que trabajarán en conjunto.

### 2.3 Sistema de control de la caldera

El objetivo de los controles automáticos es lograr una mayor eficiencia del equipo con un correcto sistema de regulación. Además, hay que considerar otro factor importante que se puede obtener con los sistemas de control, que es un funcionamiento seguro del equipo.

Es necesario que la caldera mantenga una presión de trabajo constante en los caudales de consumo por lo que se debe tener una combustión correcta, se debe buscar que el nivel de presión sea estable y la llama constante para obtener una operación segura. A continuación se establecen parámetros para cumplir este objetivo.

### Control de combustión

Es necesario un controlador de presión de vapor en la caldera, cuya variación influya directamente en una válvula de control de combustible.

La señal procedente del caudal de aire es modificado por un relé que ajusta la relación entre aire y combustible y pasa a un controlador que lo compara con la señal de caudal de combustible.

En caso de que la proporción no sea correcta, se emite una señal al servomotor de mando del ventilador o a la válvula mariposa, de modo que el caudal de aire es ajustado para obtener una mezcla correcta.

Hay diferentes controladores de combustión como son:

- Controlador Caudal fuel – caudal aire en serie
- Controlador caudal aire – caudal fuel en serie
- Controlador caudal de vapor – caudal fuel/caudal vapor – caudal aire en serie
- Controlador caudal aire – caudal fuel en paralelo



Este último definitivamente es el más confiable, por lo que será el que seleccionemos para nuestro sistema, debido a que al mismo tiempo se controla el combustible y el aire.

### Control de nivel

El sistema de control de agua de alimentación se determinará en función de la capacidad de producción de vapor de la caldera en la tabla 3

TIPO (# DE ELEM.)	Variables	Cap. de caldera (Kg/hr de vapor)		
		≤ 6000	6000-15000	≥ 15000
1	Nivel	Cargas Irregulares	Pequeños cambios de carga	Cargas mantenidas
2	Nivel Caudal de vapor	Carga irregular Con grandes Fluctuaciones	Cambios de cargas moderadas	Lentos cambios de carga moderadas
3	Nivel Caudal de vapor Caudal de agua			≥ 20000

TABLA 3 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE VAPOR DE LA CALDERA

En nuestro caso consideraremos el control de nivel de un elemento, que consiste en un flotador con reostato acoplado eléctricamente a una válvula

motorizada eléctrica. La figura 2.9 muestra el control de nivel antes mencionado.

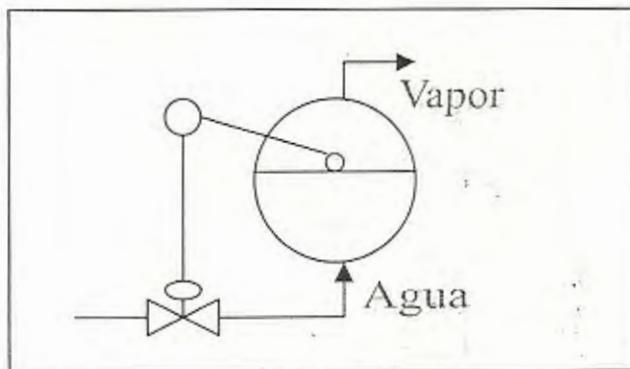


FIGURA 2.9 CONTROL DE NIVEL DE UN ELEMENTO

### Seguridad de llama

Puede ocurrir una falla en la llama, y debe haber un sistema de protección que debe accionar inmediatamente ante el riesgo de que el combustible inunde el lugar.

Los detectores de llama basan su principio de funcionamiento en varias características de la llama como calor de ionización y radiación. En nuestro caso se utilizará un detector de radiación ultravioleta por la gran seguridad que ofrece.

### Programadores

Los detectores de llama están conectados a programadores con relé de seguridad de llama que incluye la parada de la caldera hasta una programación completa, como incluir prepurga de los gases que pudieron haberse acumulado en el hogar, encendido de la llama piloto y encendido de la llama principal. Es decir, con los programadores podemos automatizar la operación del equipo.

### Presostatos

Controlan la presión para una operación segura de la caldera. Actúa directamente con el circuito eléctrico del quemador. También se puede interferir en el circuito del sistema de combustible al no tener una presión adecuada que no permita una adecuada combustión.

### Termostato

El objetivo es detectar las variaciones de temperatura detectadas en los contactos eléctricos contenidos en el cuerpo principal. El termostato puede ser usado en diferentes funciones al ser capaz de emitir señales por medio de un bulbo sensor.

# Capítulo 3

## 3. CÁLCULO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LA CALDERA

Se entiende por sistema de combustible de una caldera al conjunto de componentes requeridos para proveer de combustible a la misma. Entre los principales componentes de un sistema de combustible tenemos:

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

### 3.1 Selección de combustible

Hay diferentes tipos de energía que pueden utilizar una caldera. Los más comunes son:

- Diesel Oil

- Fuel Oil (Bunker No 6)
- GLP (Gas Licuado de Petróleo).

Haciendo el análisis de costos en la Tabla 4, se establece que más conveniente resulta el Fuel Oil. Como combustible alternativo del sistema dual se seleccionará el GLP acogiendo las exigencias ambientales que cada vez son más exigentes.

Al considerar que el combustible principal a ser utilizado es muy viscoso, se colocará un precalentador en el tanque de combustible diario y otro al ingreso del quemador.

Fuel Oil: 0,275 GPH/cc

### 3.2 Determinación de la capacidad de combustible

El número de tanques y la capacidad de los mismos, dependerá del consumo de combustible de las calderas seleccionadas. En cualquier caso es recomendable disponer de tanques de reserva que tengan una capacidad de almacenamiento de tal forma que el combustible pueda durar de 15 a 30 días de funcionamiento de las calderas. El tanque de servicio diario debe ser ubicado lo más cerca posible de la caldera, y debe ser capaz de satisfacer la demanda de combustible en por lo menos 24 horas.

CUADRO COMPARATIVO DE PRECIOS DE DIFERENTES ENERGIAS								
PRODUCTO	Poder Calorífico Kwh/Kg	Precio Industria (USD)	Costo Transporte Industria (USD)	Unidad de medida de venta	Densidad (Kg / m3)	Precio	Precio general	% de incremento
						Dólares/Kg PI+F	1 Kwh PI+F	Energía Vs GLP PI+F
a) Diesel	12,55	0,7800	0,0056	dólar/galón	852	0,2433	0,0194	33
b) Fuel Oil 6	12,14	0,6000	0,0058	dólar/galón	906	0,1764	0,0145	0
c) GLP	13,84	0,2600	0,0200	dólar/kg	538	0,2600	0,0202	39

Equivalencias	kg GLP
1 gl de diesel	2,92
1 gl de gasolina	2,86
1 gl de Fuel Oil	3,01

EQUIVALENCIAS	
1 BTU =	Kcal
1 kwh =	Kcal
1 kwh =	BTU
1 gl =	lts
1 m3 =	lts

NOTA:

PVP = precio venta al público (Doméstico)

PI+F= precio especial para industria más costo de flete

TABLA 4 ANÁLISIS DE COSTOS DE COMBUSTIBLE

Actualizado el: 10/01/2002

En la Tabla 5 podemos tomar como guía la capacidad mínima de almacenamiento para calderas compactas de tubos de fuego con respecto al HP o caballos caldera

Litros	Galones Americanos	Caballos Caldera
1500	396,3	Hasta 50
2000	528,4	60 - 70
3000	792,6	80 - 100
4000	1056,8	125
5150	1360,6	150
6000	1585,2	200
7300	1928,7	250
10000	2642,0	300

TABLA 5 Capacidad mínima de almacenamiento con respecto a CC.

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.

Si buscamos una relación entre la potencia nominal del equipo y el poder calorífico del combustible utilizado tenemos que para generar 1 CC requerimos:

- Fuel Oil (Bunker No 6): 0,275 GPH/CC

Si el tiempo estimado de demanda de vapor diario en base a la capacidad de producción es de 10 horas, entonces:

$$0,275 \times 350 = 96,25 \text{ GPH}$$

$$96,25 \times 10 = 1000 \text{ Galones (aprox.)}$$

### 3 Capacidad y dimensionamiento del tanque de combustible

Los tanques de combustible pueden clasificarse como sigue:

- Por su forma:
- Cilindros verticales
  - Cilindros horizontales
  - Rectangulares

- Por su ubicación:
- Sobre el piso
  - Subterráneos

Debido a la disponibilidad de espacio, el tanque será del tipo horizontal y será colocado lo más cercano posible cumpliendo con normas de seguridad.

Basado en el cálculo anterior, al dimensionar un tanque de una capacidad aproximada de  $4 \text{ m}^3$ , tenemos:

1,12 metros

$L = 2$  metros

Luego calculamos el tanque de reserva para que tenga una autonomía de combustible que de 15 días de funcionamiento de la caldera:

$1000 \times 15 = 15000$  Galones =  $60 \text{ m}^3$  (aprox.); entonces

$D = 2,5$  metros

$L = 6$  metros

### 3.4 Cálculo y selección de bombas de Combustible

Las bombas de combustible son del tipo de desplazamiento positivo, rotativo y de engranaje. Toda bomba tiene como características principales su cabezal y su caudal volumétrico.

Para el caso del combustible seleccionado la altura de succión no debe pasar de 17 pulgadas de mercurio (19,26 pies de columna de agua), sea que la bomba esté o no integrada a la caldera.

La presión de descarga de la bomba puede fluctuar entre 75 y 100 psi dependiendo del arreglo de las tuberías del sistema de combustible.

En lo referente al caudal de la bomba está dependerá de los caballos calderas pudiendo ser este de 30 hasta 400 GPH.

En nuestro caso son dos calderas, donde las bombas tienen que ser independientes. Si tenemos que la relación de combustible utilizado es de 0,275 GPH/CC, para el caldero de 200 CC necesitamos 55 GPH, y para el de 150 GPH necesitamos 42 GPH.

Con la siguiente fórmula se obtienen las potencias respectivas:

$$HP = (8,33 \times Q \times TDH \times g_e) / (33000 \times \eta), \text{ donde:}$$

Q = Caudal (GPM)

TDH = cabezal igual

$g_e$  = gravedad específica (0,85)

$\eta$  = eficiencia de la bomba (0,75)

Ahora:

$$Q_1 = 0,91 \text{ GPM}$$

$$Q_2 = 0,70 \text{ GPM}$$

$$TDH = 173,25 \text{ pies de agua}$$

Entonces:

$$HP_1 = (8,33 \times 0,91 \times 173,25 \times 0,85) / (33000 \times 0,75) = 0,045$$



$$HP_2 = (8,33 \times 0,70 \times 173,25 \times 0,85) / (33000 \times 0,75) = 0,034$$

Las bombas de combustible van a ser de engranajes, con una potencia de motor de 1/4 HP, que es la que se encuentra disponible en el mercado.

# Capítulo 4

## 4. CÁLCULO SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

Es un factor importante dimensionar correctamente el sistema de agua de alimentación al constituirse la materia prima para la producción de vapor. Debe asegurarse un suministro continuo que garantice una generación constante de vapor. Se determinará:

- el tanque de almacenamiento
- el equipo de bombeo
- y el equipo de control, que son los componentes básicos del sistema.

### 4.1 Cálculo de la capacidad de agua de alimentación

Es recomendable que la cantidad de agua de reserva y la capacidad de alimentación almacene una cantidad mínima de agua suficiente para sostener la evaporación en la caldera por lo menos durante 20 minutos,

Si para satisfacer la demanda de agua de un caballo caldera se requieren 0,069 galones por minuto, para los dos calderos que suman 350 cc se requiere:

$$350 \text{ cc} \times 0,069 = 24,15 \text{ GPM}$$

en 20 minutos tenemos:

$$24,15 \text{ GPM} \times 20 \text{ min} = 483 \text{ Galones}$$

#### 4.1 Capacidad y dimensionamiento del tanque

El tanque de almacenamiento nunca debe estar al 100% lleno, sino que esté solamente a un nivel de agua que cubra el 70% de la capacidad de tanque, como en la figura 4.1.

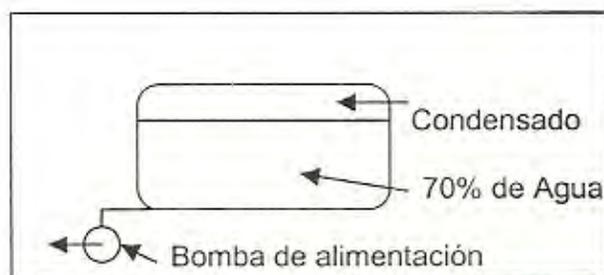


FIGURA 4.1 TANQUE DE ALIMENTACIÓN

Lo ideal sería que el sistema sea un circuito cerrado, que el tanque de almacenamiento del agua de alimentación reciba el retorno de condensado proveniente del vapor que circulado, sin embargo siempre hay pérdidas, por lo que es necesario realizar una conexión de agua de reposición proveniente de algún otro tanque de reserva de agua.

El tanque de condensado será el principal alimentador del tanque de almacenamiento, el mismo deberá entregar el agua a la más alta temperatura posible para evitar en el caldero problemas de dilatación, contracciones o choques térmicos.

Ahora si nuestro requerimiento de almacenamiento es de 483 Galones, tenemos:

$$483 / 0,7 = 690 \text{ Galones}$$

Entonces, la capacidad del tanque de alimentación deberá ser de 690 galones, que equivale a un volumen aproximado de aproximadamente 2,8 m<sup>3</sup>. El tanque podrá tener 2 metros de largo, por 1,4 metros de ancho y una profundidad de 1 metro para obtener dicho volumen.

#### **4.2 Cálculo y selección de bomba de agua de alimentación.**

Se deben tomar en cuenta los siguientes criterios para seleccionar la bomba para el agua de alimentación:

- Operación continua o intermitente
- Temperatura de agua de succión
- Capacidad

- Presión de descarga
- Carga neta de succión requerida

#### Operación continua o intermitente

En la mayoría de los casos las bombas en las calderas pirotubulares la operación es intermitente. Trabajan con un flotador sobre el cual actúa un switch, esto hace que la bomba arranque o pare a cierto nivel.

#### Temperatura de agua de succión.-

Los rangos aproximados de temperatura en las bombas varían, pero la mayoría se encuentra entre 100 y 104 °C, que será en nuestro caso. Otras bombas pueden operar con temperaturas de hasta 121 °C o más, pero con enfriamiento de agua externo.

#### Capacidad.-

La capacidad de una bomba significa el caudal que puede proveer, pero siempre dependiendo también de la presión de descarga y de la carga neta de succión requerida.

Por regla general, la bomba tipo turbina es frecuentemente seleccionada para operación intermitente, pero con una capacidad de 1,5 a 2 veces la capacidad de evaporación de caldera.

Al seleccionar bombas de agua de alimentación se deberá considerar que a menudo las calderas operan a 200 y 300% de su capacidad. Por lo tanto las cifras indicadas en la tabla 6 corresponderían a los caballos caldera realmente desarrollados por la caldera.

C.C.	lts/min								
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	1000	69

CC = Caballos de caldera  
 Lts/min = Litros por minuto

TABLA 6 CAUDAL VOLUMÉTRICO REQUERIDO PARA ALIMENTAR  
 CALDERAS

Es decir:

$$200 \times 200\% = 400 \text{ CC}$$

$$150 \times 200\% = 300 \text{ CC}$$

Para la caldera de 200 HP corresponde un caudal de 27,6 lts / min o 100 GPM, y para la caldera de 150 HP corresponde un caudal de 20,7 lts/ min o 75 GPM

#### Presión de descarga.-

Siempre la presión de descarga debe ser mayor que la presión de operación de la caldera; en las bombas tipo turbina, un valor de 5 a 25 lbs/pulg<sup>2</sup> por encima de la presión de operación sería un valor razonable a tomar en referencia.

$$100 + 25 = 125 \text{ psi} \times 2,31 \text{ pies H}_2\text{O} / 1 \text{ psi} = 288,25 \text{ pies H}_2\text{O}$$

#### Carga neta de succión positiva (NPSH).-

Es la altura total absoluta de succión en centímetros o pies corregida al eje impulsor, menos la presión absoluta de vapor de líquido. Para saber si el agua se vaporiza o no en el punto de menor presión de la bomba, ya que se

debe mantener el fluido en estado líquido evitando la cavitación que afecta la eficiencia y produce perforaciones a las paletas

### Selección de la bomba de agua,-

La potencia requerida se determina mediante la siguiente fórmula:

$$HP = \frac{8,33 \times Q \times TDH \times g.e.}{33000 \times \eta}$$

donde :

Q: Caudal

TDH: Cabezal

g.e: Volumen específico (1)

$\eta$ : Coeficiente (0,75)

$$HP_1 = \frac{8,33 \times 100 \times 288,25 \times 1}{33000 \times 0,75} \quad HP_1 = 10$$

$$HP_2 = \frac{8,33 \times 75 \times 288,25 \times 1}{33000 \times 0,75} \quad HP_2 = 7$$

La carga neta de succión:

$$NPSH = (Pa/\rho \times 10) - ((Pe/\rho \times 10) + L + h_f)$$

Donde :

Pa: Presión del fluido (atm)

Pe: Presión de evaporación

L: caída de presión de succión

$h_f$ : Pérdidas por fricción (1,4)

$\rho$ : densidad

$$\text{NPSH} = 6$$

Adicionalmente las bombas seleccionadas deben ser del tipo turbina y de operación intermitente.

## CAPITULO 5

### 5. CÁLCULO Y DIMENSIÓN DE LÍNEAS DE VAPOR Y CONDENSADO

El sistema de distribución es la parte que sigue luego de haber producido vapor en la caldera y vendría a ser el medio de enlace entre esta y los diferentes puntos de consumo.

Un incorrecto dimensionamiento y montaje de las tuberías de vapor hará que esta no llegue a la presión y temperatura deseadas, además puede provocar golpes de ariete y erosión en la tubería. Los parámetros necesarios para dimensionar tuberías de vapor son:

*Caudal másico* de vapor ( lb/hr ó kg/hr ).- constituye la masa de vapor por unidad de tiempo que produce la caldera al generar vapor.

*Presión de vapor* ( lb/pulg<sup>2</sup> ó Kg/cm<sup>2</sup>); para el cálculo tomamos la presión al comienzo del tramo a calcular, teniendo la precaución de no tomar tramos mayores a 100 metros.

*Caída de presión máxima admisible* (lb/pulg<sup>2</sup> ó Kg/cm<sup>2</sup>): Esta viene dada por la diferencia entre la presión disponible desde que el vapor sale de la caldera hasta que la presión alcanzada en los terminales de consumo de vapor del sistema.

*Longitud Total de la tubería* (metros): se considera la longitud de la tubería horizontal más la longitud debida a válvulas, codos ,conexiones, etc.

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

- Mientras más baja sea la presión de vapor, mayor tamaño de tubería se requerirá debido al incremento de consumo que sufre el volumen específico
- A mayor caudal 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 fluye en una tubería a altas velocidades puede producir ruidos.

dependen a su vez del proceso de producción, y de la consideración de la mejor alternativa para hacer el paso de líneas.

Las dos primeras consideraciones son tomadas en el proyecto de distribución de la planta. El trazado de líneas de vapor fue diseñado con el criterio de llegar al punto de consumo sin hacer mucho recorrido y pasando por áreas en las que el trazado no afecte ni la producción ni la seguridad.

En la figura 5.1 se puede observar a escala la distribución de las líneas de vapor desde el cuarto de calderos hasta cada uno de los puntos de consumo.

## **5.2 Cálculo del diámetro de las tuberías de vapor**

Se utilizará el ANEXO A (Ref. Calderas Industriales y Marinas) para determinar los diámetros de tubería basado en el caudal requerido en Kg/h que debe circular, la presión en esos tramos y las velocidades del vapor que pasa por las tuberías principales deben ser elevadas. El proyecto se dimensionará con una velocidad de 50 m/s, recomendada para tuberías principales de distribución.



En el ANEXO B (Ref. Calderas Industriales y Marinas) se determina la caída de presión que tendremos basado en el diámetro dimensionado de la tubería a instalar. Si la caída de presión en todos los tramos de tubería resulta superior a la máxima permitida, se deberá redimensionar la tubería.

Se establecen las áreas a la que se va abastecer de vapor. El área de Decapado se ubica a 210 metros lineales de tubería principal con una presión de trabajo de alta de 100 psi. El área de fosfatado se ubica a 50 metros lineales a una presión de trabajo alta de 100 psi. La caldera trabaja a una presión promedio de operación de 100 psi por lo que el dimensionamiento debe evitar la mayor caída de presión.

En el capítulo 2 se estableció un consumo similar para las dos áreas de consumo. Para el proceso de Decapado se estimó un consumo de 2165 kg/h de vapor y para el proceso de Fosfatado se estimó un consumo de 2060 kg/h.

### Decapado

Nuestra presión de operación es:

$$100 \text{ PSI} \times 1 \text{ Kg/cm}^2 / 14,22 \text{ PSI} = 7 \text{ Kg/cm}^2$$

Se ingresa a la ANEXO A con el caudal de 2165 Kg/h de vapor se desplaza horizontalmente hasta una presión de operación de 7 kg/cm<sup>2</sup>. A partir de este punto ascendemos verticalmente hasta alcanzar en la parte superior, la horizontal correspondiente a una velocidad de 50 m/s y encontramos que la tubería requerida es de 3".

Con este dato ingresamos a la ANEXO B (sólo para presiones de operación de 7 Kg/cm<sup>2</sup>) por la parte inferior con el caudal requerido de 2165 Kg/h. Ascendemos verticalmente hasta interceptar la línea correspondiente a 3". Horizontalmente a la izquierda de la figura leemos una caída de presión de 0,25 Kg/cm<sup>2</sup> por cada 100 metros. En los 210 metros lineales de tubería principal más un 10% para incluir curvas y válvulas, la caída será:

$$0,25 \times (210 + 21) / 100 = 0,57 \text{ Kg/cm}^2$$

La pérdida de carga es aceptable al ingreso en el área de Decapado, pero al realizarse la suma de caídas de presión de los diferentes tramos de tubería, resulta superior a la máxima permitida, se vuelve hacer el cálculo a base de velocidades inferiores, con lo que se obtiene una tubería de diámetro de 6 " de la tubería principal.

Se realiza el mismo procedimiento para calcular los diámetros de los tramos de conexión a los equipos. En la Tabla 7 se resume el dimensionamiento de todos los tramos de tubería.

Metro Lineal	Codos	Tees	Tapas	Diámetro
210	9	1	4	6 "
30				4"
15	15		20	2"
30	20		20	1"

TABLA 7 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍA PARA PROCESO DE DECAPADO

#### Fosfatado

Se realiza el mismo procedimiento que se hizo para las tuberías de Decapado. El primer punto de consumo del área de fosfatado es el secador que se encuentra a 50 metros lineales con un consumo máximo del proceso de 2060 Kg/hr, Se determina inicialmente en la ANEXO A un diámetro de 3". Ingresando a la ANEXO B se determina una caída de presión de 0,25 Kg/cm<sup>2</sup> por cada 100 metros de tubería.

Entonces:

$$0,25 \times ( 50 + 5 ) / 100 = 0,14 \text{ Kg/cm}^2$$

Esta caída de presión es aceptable dado que es relativamente baja

Se realiza el mismo procedimiento para determinar el diámetro en el tramo de 45 metros lineales que llega a las duchas de fosfato después del secador. Al calcularse la pérdida de carga se establece que no es aceptable por lo que se vuelve a dimensionar la tubería principal que llega al secador a 4". En la Tabla 8 se resume el dimensionamiento de la tubería del área de Fosfatado.

Metro Lineal	Codos	Tees	Tapas	Diámetro
50	14		15	4"
45	27		64	2"

TABLA 8 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍA PARA PROCESO DE FOSFATADO

### 5.3 Distribución de tuberías de retorno de condensado

Como en el caso de la distribución de las líneas de vapor, las líneas de condensado dependen de la disposición de la planta.

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

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

Esto impide calcular la dimensión de estas tuberías como si se tratara simplemente de agua. Para efectos prácticos y como aproximación vamos a describir un procedimiento sencillo basado en los tres periodos de funcionamiento de una planta de vapor, a saber:

Puesta en marcha: En esta operación el aire y el condensado frío son descargados a través de trampas de vapor.

Pre calentamiento: La trampa de vapor descarga gran cantidad de condensado frío debido a que la instalación no llega a la temperatura de régimen.

Durante este periodo, tenemos una excepcional cantidad de condensado y una gran caída de presión en el equipo, por lo tanto, tendremos 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 en ese momento una temperatura próxima a la del vapor, tendremos revaporizado.

#### 5.4 Cálculo del diámetro de las tuberías de retorno de condensado

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

Para el dimensionamiento de la tubería cuando no se conoce el caudal de puesta en marcha, en la mayoría de los casos podemos considerar que es igual al doble del régimen. En algunos casos, especialmente con presiones altas, debemos aumentar el margen de seguridad de 2,5 a 3 veces el caudal del régimen.

Para este caso utilizaremos el ANEXO C que es un diagrama para tuberías de agua, en donde determinamos el diámetro de tubería de retorno de vapor que viene desde el proceso de Decapado como la que viene del proceso de Fosfatado hasta el cuarto de calderas.

En general, no es conveniente trabajar con caídas de presión elevadas en las tuberías de retorno, pues esto produce una reducción de la capacidad de descarga de las trampas de vapor, especialmente en el momento de la puesta en marcha, cuando el caudal de condensado y la presión es mínima. Por otra parte, tampoco es recomendable sobredimensionar las tuberías de retorno porque incrementaría el costo de la instalación.

Por esto que se recomienda dimensionar las tuberías de condensado en un rango de caída de presión unitaria del orden de 0,05 a 0,1 kg/cm<sup>2</sup> por cada 100 metros de recorrido.

### Decapado

El proceso tiene un consumo de vapor de 2165 Kg/hr en condiciones de régimen. Para determinar el diámetro de la tubería de condensado utilizamos el ANEXO C, entrando por la derecha con un caudal de 4350 Kg/h (aproximadamente el doble del régimen), nos desplazamos

horizontalmente hasta interceptar la vertical que viene desde la escala superior que corresponde a una caída de presión de 0,04 kg/cm<sup>2</sup> por cada 100 metros se obtiene un diámetro de 2 ½" de tubería. Al tener un recorrido de 240 metros lineales, se obtiene una caída de presión total de 0,096 Kg/cm<sup>2</sup> el cual es un valor razonable.

#### Fosfatado

Se aplica el mismo procedimiento que para el dimensionamiento de retorno para el proceso de Decapado. Se ingresa por el margen derecho del ANEXO C con un caudal de 4000 Kg/h (aproximadamente el doble del régimen), nos desplazamos horizontalmente hasta interceptar la vertical que viene desde la escala superior con la caída de presión Total en un recorrido de 95 metros de 0,1 Kg/cm<sup>2</sup> lo cual es considerado razonable, obteniendo un diámetro de 2" para la tubería de retorno desde el proceso de Fosfatado.

## CAPITULO 6

### 6. TRAMPAS DE VAPOR

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 cuando el vapor cede su calor latente y se convierte en agua así como para eliminar el aire indeseable y los gases no condensables que pueden estar presentes en el vapor.

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

En la planta industrial se requiere seleccionar las trampas para cuatro tanques con serpentines de vapor en el área de decapado. También se cuenta con un tanque con serpentín de vapor para calentamiento de ácido sulfúrico, el cual cuenta con su respectiva trampa de vapor cuya carga de condensado será eliminado al ambiente para evitar enviarlo al tanque de alimentación de la caldera, ya que en caso de que se produzca un daño en el serpentín, el condensado puede ser contaminado con el ácido. Si este

condensado contaminado es retornado a la caldera, puede provocar serios daños a la misma. Para el tanque de secado se colocará una trampa por cada uno de los dos serpentines de vapor.

En el área de fosfatado se determinarán las trampas de vapor a colocar en las tres tanques con serpentines, 2 tanques para enjuague y un tanque de solución de fosfato. Adicionalmente una trampa para el serpentín del secador.

### 6.1 Tipo de Trampas de vapor

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

1. Trampas tipo termostática
2. Trampas tipo mecánicas
3. Trampas de impulso
4. Trampas termodinámicas

A su vez las trampas termostáticas pueden ser:

- De presión equilibrada

- Para expansión líquida
- Bimetálicas

Las trampas tipo mecánicas pueden ser:

- De flotador y termostática
- De balde que puede ser invertido o abierto

## 6.2 Cálculo y selección de trampas de vapor

Las trampas de vapor son muy diversificadas, por lo tanto se debe seleccionar la trampa adecuada correctamente. En lo referente al tamaño se requiere hacer un cálculo para establecer el tamaño correcto de la trampa según los siguientes parámetros.

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

Sin embargo en este capítulo no se enfocará el procedimiento de cálculo para establecer las dimensiones de la trampa, en su lugar se hará uso de la información dada en los catálogos de fabricantes de trampas.

La Tabla 9 nos puede servir de guía para seleccionar el tipo de trampa de vapor adecuada para sistema.

A continuación se resume las trampas seleccionadas para las diferentes áreas:

1. Para los serpentines tipo radiadores de vapor y para los serpentines de tubería de vapor para el secado de piezas en el área de decapado y de fosfatado se utilizará trampas termostáticas de presión equilibrada según la tabla.
2. Para el serpentín de vapor para calentamiento de ácido sulfúrico, el cual cuenta con su respectiva trampa de vapor será balde invertido para desalojar el condensado que se genera.

Las trampas termostáticas de presión equilibrada son actuadas por un componente termostático flexible, lleno con un fluido, el mismo que al calentarse o enfriarse, se evapora o condensa. Las variaciones internas de presión, dilatan o contraen el componente moviendo la cabeza fijada al componente.

APLICACIÓN	ALTERNATIVA PREFERIBLE	ALTERNATIVA TOLERABLE
Selección de calefacción de aire baja y media presión, alta presión	Flotador y termostática	y Termodinámica
Calentadores agua(instantáneos) Calentadores agua(almacenamiento)	Flotador y Termost. Flotador y Termost.	- -
Intercambiadores de calor: Pequeños - alta presión Grandes - Baja y media presión Recalentadores	Termodinámica Flotador y termost. Flotador y termost.	Flotador y Termost. - -
Recipiente con camisa de vapor: Alta presión Baja presión	Termodinámica Flotador y Termost.	Flotador y Termost. Termodinámica
Trampas para drenar líneas principales de vapor: 0 - 15 psig 16 - 125 psig 126 - 600 psig	Flotador y Termost. Termodinámica Termodinámica	- Flotador y Termost. 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 16 - 125 psig 126 - 600 psig	Flotador y termost. Termodinámica Termodinámica	- Flotador y Termost. Balde invertido
Líneas de tránsito de vapor	Termodinámica	Expansión líquida
Serpentines de tanque de almacenamiento	Expansión Líquido	Termodinámica
Serpentines sumergidos de calefacción Baja presión Baja y media presión	Termodinámica Flotador y Termost.	Balde invertido Termost. de presión equilibrada

TABLA 9 TIPOS DE TRAMPAS DE VAPOR

Cuando comienza la operación el componente frío está contraído y la válvula completamente abierta para descargar aire y condensado frío.

Al momento que llega vapor a la trampa, el componente se dilatará y cerrará la trampa. Cuando el condensador que rodea el componente se enfría hasta más o menos 10 a 30 grados por debajo de la temperatura de vapor, la trampa se abrirá para descargar el condensado. En la figura 6.1 tenemos una trampa termostática tipo fuelle que puede ser aplicada a nuestro sistema.

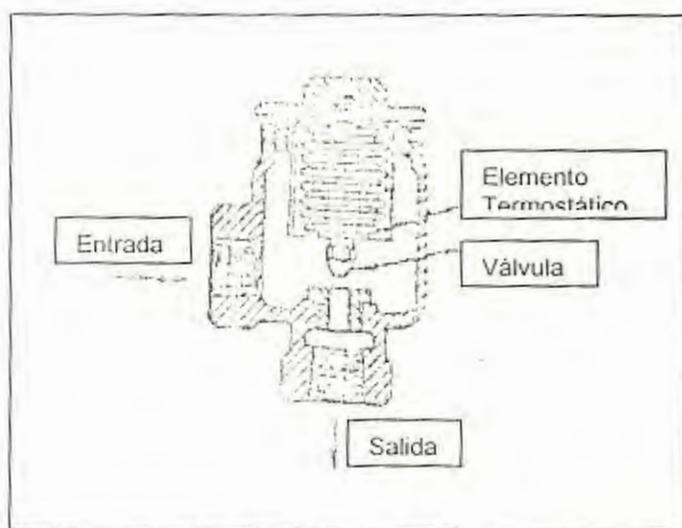


FIGURA 6.1 TRAMPA TERMOSTÁTICA TIPO FUELLE

Las características de funcionamiento de la trampa mecánica de balde invertido se basan en que normalmente el cuerpo de la trampa está lleno de condensado para mantener un sello alrededor del balde invertido, el mismo que actúa como un flotador para accionar la válvula de descarga.

El vapor que entra en el balde lo hace flotar cerrando la válvula. Durante el tiempo que la válvula está cerrada el condensado se acumula en la tubería por el lado de entrada de la válvula hasta que el vapor que hace flotar el balde, se escapa a través de un pequeño orificio en la parte superior de ésta, y permite que el balde descienda abriéndose la válvula.

El condensado es descargado seguido por el vapor, el cual vuelve a accionar el mecanismo de flotador. El aire puede pasar a través de un pequeño orificio en la parte superior del balde. En la figura 6.2 se puede apreciar una trampa de balde invertido.

En los sistemas de trampas de vapor es necesario hacer las siguientes consideración, debe haber una trampa principal y una de reserva. La trampa de reserva es incluida con el propósito de no detener el funcionamiento del sistema, si es que se dañara la trampa principal.

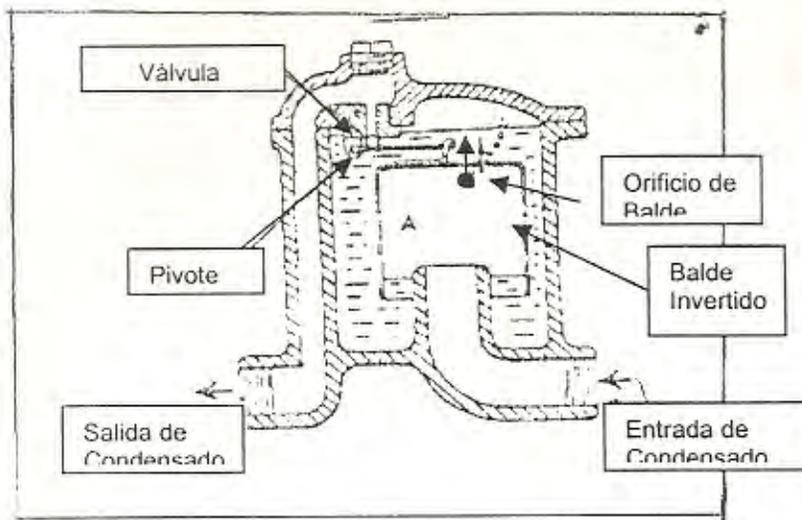


FIGURA 6.2 TRAMPA DE BALDE INVERTIDO

### 6.3 Ubicación de trampas de vapor

Las trampas de vapor deben colocarse debajo del equipo o de la tubería que se quiere drenar para permitir al condensado fluir con gravedad a la trampa.

Se debe utilizar una trampa para cada unidad del equipo que emplea vapor.

No se debe instalar trampas para grupo de equipos.

Es recomendable instalar un filtro antes de la trampa de vapor para protegerla contra las escamas o suciedad que pueda tener el condensado.



Las tuberías horizontales deben ser instaladas con una ligera inclinación hacia la trampa a fin de evitar el bloqueo de vapor en la tubería.

Las trampas termostáticas de presión equilibrada pueden colocarse a una distancia de 0,5 a 1,5 metros del equipo para que el condensado se enfríe un poco. Entre esa distancia se colocará un regulador de temperatura que permitirá mantener constante la temperatura del contenido en el tanque, en el momento que son ingresa una canasta de piezas a una temperatura ambiente.

Las trampas que drenan calentadores de aire de baja presión o calentadores de agua con control de temperatura, deben ubicarse tan debajo del calentador como sea posible. En la figura 6.3 se puede apreciar como irán dispuestos las trampas, el regulador de temperatura y los accesorios a la salida del equipo.

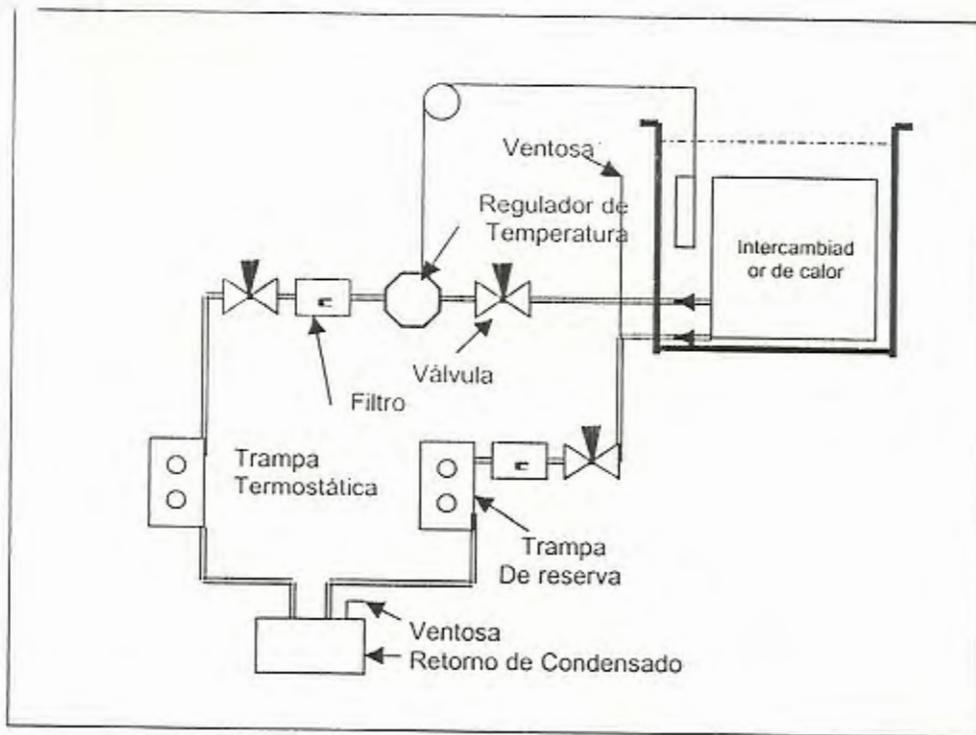


FIGURA 6.3 DISPOSICIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR

# CAPITULO 7

## 7. ANÁLISIS DE COSTOS

Este capítulo refiere a los costos en que se incurre exclusivamente en el sistema de vapor, las calderas, sistema de combustible, sistema de agua, tuberías, etc. Luego se busca una alternativa válida para un mayor aprovechamiento de la energía, haciendo un estudio económico para diferentes espesores de aislamiento, en el cual se pueda verificar hasta que punto el beneficio del mismo es balanceado con el costo de la inversión.

### 7.1 COSTOS DEL SISTEMA DE VAPOR

Se cotiza los siguientes equipos con las respectivas características:

#### CALDERA (EQUIPO ESTANDAR)

- Caldera con tubo de fuego, de alta presión, con una presión de diseño de 150 PSIG; 4 pasos
- Ventilador de tiro forzado con cuatro pasos de calentamiento

- Quemador con boquilla para inyección de combustible, diseñado para trabajar con búnker y GLP. Modelo FV-60-6/4.
- Posee el tren completo del sistema par combustible GLP y su regulador a baja presión
- Motores eléctricos trifásicos a 220 V, 60Hz
- Control automático de nivel de agua marca MC Donell & Miller, modelo 157S, con válvulas de purga, control de bomba de alimentación.
- Control secundario LWCO montado directamente.
- Control visual de control de agua con respectivas purgas
- Presuritroles de trabajo y de seguridad de presión de vapor
- Presuritroles de modulación de presión de vapor
- Control de monitoreo de llama, FIREYE E-110
- Controlador de modulación, completa.
- Válvula de accionamiento rápido para purga de fondo.
- Manómetros indicadores de presión de 4 1/2
- Válvulas de seguridad y alivio de acuerdo a código ASME
- Puerta de seguridad contra explosión
- Termómetro de Chimenea. De 200 - 1000 grados °F
- Chaqueta de acero con aislamiento de 2"

### SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

- La caldera dispone de un tanque de condensado de 260 galones
- Sistema automático de control de temperatura del agua. Temperatura de succión de 100 °C
- Control de nivel de agua para tanque de condensado
- Bomba de alimentación de agua a la caldera con motor ODP, de operación intermitente, tipo turbina.
- Presión de descarga de 125 psi
- Tubería de succión y descarga. Incluye: Filtro en la succión del tanque de condensado, manómetro y válvula check de compuerta y termómetro de descarga.
- Sistema de retorno a alta presión
- Para caldera de 200 HP: 100 GPM; 10 HP  
Para caldera de 150 HP: 75 GPH; 7 HP

### SISTEMA DE COMBUSTIBLE

- Conjunto completo de bomba- motor y base con sus accesorios
- Filtro Principal "Morrison".
- Para caldera de 200 HP : 55 GPH; ¼ HP

Para caldera de 150 HP : 42 GPH; ¼ HP

### TUBERÍA

Se obtiene el presupuesto por metro lineal. Para incluir los accesorios requeridos en la tubería se recurre a la tabla 10 donde se estipula la equivalencia en metros lineales.

Accesorios	MEQ
Codos	1
Tees	0,7
Reducciones	0,7
Tapas	0,3

TABLA 10 EQUIVALENCIA ( ML) DE ACCESORIOS

En la tabla 11 se estipula el valor de los equipos, implementos y todos los demás materiales para levantar el sistema de vapor.

Cant	Descripción	V. Unit	V.Total
1	Caldera Pirotubular Marca CLEAVER BROOKS (USA) Modelo 400-200-150 Potencia 200 HP Capacidad 6900 LBS VAPOR/HORA Costo + Flete + Trámites de aduana		\$125000
1	Caldera Piroubular Marca CLEAVER BROOKS (USA) Modelo 400-200-150 Potencia 150 HP Capacidad 6900 LBS VAPOR/HORA Costo + Flete + Trámites de aduana		\$102000
1	Tanque de combustible Uso Diario Capacidad 1000 Galones		\$ 3272
1	Tanque de Combustible Uso Reserva Capacidad 15000 Galones		\$ 12682
1	Tanque de Agua de Alimentación Capacidad de 690 Galones		\$ 2643
221	Tubería de 6" (metros equivalentes) Incluye Material y mano de obra		\$ 21500
80	Tubería de 4" (metros equivalentes) Incluye Material y mano de obra		\$ 9000
395	Tubería de 2" (metros equivalentes) Incluye material y mano de obra		\$ 26000
56	Tubería de 1" (metros equivalentes) Incluye Material y mano de obra		\$ 4900
	<b>TOTAL</b>		<b>\$298006</b>

Estos precios no incluyen IVA

TABLA 11 COSTOS DE INVERSIÓN

## 7.2 Costos Operativos

Se debe identificar mejoras potenciales en el sistema de vapor para un uso eficiente de la energía. Con este propósito, me centraré en una evaluación de costos de alternativas de aislamiento, que deberá ser analizado por los representantes de la empresa y elegir la mejor opción.

Las condiciones existentes en instalaciones comerciales e industriales, requieren de un sistema que aisle del medio ambiente a equipos y tuberías por donde circulan fluidos calientes o fríos, lo cual permite lograr algunos de los siguientes objetivos de diseño:

1. Conservar la energía invertida en el acondicionamiento del fluido, evitando pérdida o ganancia de calor
2. Reducir los costos de operación
3. Aumentar la eficiencia de la operación al mantener estables las condiciones de temperatura, saturación, nivel de polimerización, etc, requeridas en el proceso.
4. Evitar quemaduras y riesgos potenciales de incendio al controlar la temperatura superficial
5. Evitar el flujo de vapor y la condensación de agua sobre superficies frías.

6. Controlar ruido
7. proteger los equipos de abuso mecánico, exposiciones a atmósferas corrosivas o al fuego.

Un sistema de aislamiento térmico está formado por la combinación de materiales de alta resistencia al paso del calor, recubrimientos de acabado y accesorios instalados convenientemente, con el objeto de cumplir con los objetivos anteriores.

El aislamiento correcto debe ser capaz de funcionar inalterable bajo condiciones de trabajo exigentes, tales como:

1. Atmósferas corrosivas como consecuencia de procesos químicos o por estar localizado en exteriores.
2. Abuso mecánico por manipuleo repetido, pisadas, movimientos de expansión, contracción y vibración.
3. Riesgo de incendio causado por altas temperaturas y por la presencia de sustancias volátiles.
4. Controles rigurosos y altas temperaturas
5. protección para el personal de operación
6. Requerimientos sanitarios
7. Necesidad de remover los aislamientos en áreas predecibles de mantenimiento.

#### 8. Limitaciones de espacio para mayores espesores de aislamiento.

La eficiencia o tiempo de servicio de un aislamiento depende directamente de su recubrimiento protector a la entrada de humedad, al daño mecánico y químico. Por lo tanto la selección del recubrimiento debe estar basada en las condiciones de operación.

#### AISLAMIENTO ADECUADO

El aislamiento térmico es parte integral del equipo productivo y aporta beneficios en lugar de gastos fijos. La medida del beneficio operacional es una función directa de la cantidad y de tipo de aislamiento presente dentro de las circunstancias de funcionamiento del equipo. Se consigue más ahorro a mayor espesor de aislamiento y aún más si el combustible es caro, la temperatura del proceso elevada y si la operación es continua.

En cada caso, la determinación del espesor óptimo de aislamiento necesario para obtener los máximos beneficios se logra mediante los siguientes procedimientos matemáticos:

1. Criterio del cálculo económico ETI
2. Criterio del cálculo ECO para conservación óptima de energía

3. Criterio de cálculo para obtener temperaturas superficiales de seguridad.

El criterio ETI utiliza factores económicos de aislamiento, el combustible y el equipo generador, dando como resultado un espesor con el cual se obtiene una mayor rentabilidad en términos de energía ahorrada.

Cuando los parámetros de cálculo no son muy seguros, lo mejor es tomar la decisión sobre la base de consideraciones de pérdida de calor. El criterio ECO da como resultado el espesor de aislamiento que permite operar con pérdidas aceptables de calor.

Procedemos a calcular el ahorro de combustible que se puede obtener con un correcto aislamiento:

Combustible:	Fuel Oil
Costo:	0,60 dólares/galón
Poder Calorífico:	142000 Btu/galón
Operación:	8400 horas/año
Eficiencia:	80%

La Nomenclatura utilizada será:

E Espesor de aislamiento

- $Q_1$  Pérdida de calor de tubería sin aislar  
 $Q_2$  Pérdida de calor de tubería con aislante  
 $T_s$  Temperatura superficial de tubería aislada  
 $AQ$  Ahorro de calor al aislar ( $Q_1 - Q_2$ )  
 $AS$  Ahorro de combustible en US\$/ML  
 $\$/ML$  Costo de aislamiento en US\$/ML

La pérdida de calor de la tubería sin aislar se la determina por:

$$Q_1 = m_c \times C_{pA} \times (T_s - T_o)$$

Donde

- $m_c$ : masa de la tubería por metro lineal  
 $C_{pA}$ : Calor específico del acero  
 $T_o$ : Temperatura ambiente

La pérdida de calor en la tubería aislada se la determinará por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{a(T - T_a)}{(L/k) + R_s} \quad \text{ec. 7.1}$$

Donde:

- $a$  Área exterior de aislamiento  
 $T$  Temperatura de operación

- Ta Temperatura ambiente  
 L Espesor equivalente (m)  
 k Conductividad del aislamiento ( 0,037 W/m°K)  
 Rs Resistencia a película de aire (0,68)

El ahorro de combustible estará dado por:

$$A\$ = 1.1 (Q1 - Q2)(C)(t) / ((Pc)(Ef)) \quad \text{e.c. 7.2}$$

Donde

- C Costo de combustible  
 t Tiempo de operación anual  
 Pc Poder calorífico del combustible  
 Ef Eficiencia de conversión (80%)

Simplificamos la ecuación 7.2 obtenemos:

$$A\$ = 0.04880 (Q1 - Q2)$$

En la Tabla 12 se detalla el ahorro de combustible en el proceso de Decapado, y la Tabla 13 el ahorro de combustible en el proceso de Fosfatado. El ahorro está dado en dólares por metro lineal, y se pone a consideración de la administración tres alternativas de espesores de aislamiento.

Se establece un valor de instalación por metro de aislamiento, que incluye material y mano de obra, representado por \$/ML en las Tablas mencionadas. El resultado que se busca es el tiempo de recuperación de la inversión que representaría invertir en alguna de las alternativas que se presentan y el ahorro anual por metro lineal.

Diámetro	6"				
ML	210				
T	120 °C				
Ta	30 °C				
Q1	1550Btu/hr.ML				
<b>E</b>	<b>Q2</b>	<b>AQ</b>	<b>A\$</b>	<b>\$/ML</b>	<b>Pago</b>
Pulg.	Btu/hr.ML	Btu/hr.ML	US\$/ML	US\$	Meses
1	361	1189	63,80	26,70	5,0
1.5	235	1315	70,56	32,34	5,5
2	169	1381	74,10	38,07	6,2

TABLA 12 AHORRO COMBUSTIBLE (PROCESO DE DECAPADO)

Diámetro	4"				
ML	50				
T	120 °C				
Ta	30 °C				
Q1	1063Btu/hr .ML				
<b>E</b>	<b>Q2</b>	<b>AQ</b>	<b>A\$</b>	<b>\$/ML</b>	<b>Pago</b>
Pulg.	Btu/hr.ML	Btu/hr.ML	US\$/ML	US\$	Meses
1	235	828	44,43	19,82	5,4
1.5	155	908	48,72	24,60	6,1
2	120	943	50,60	29,67	7,0

TABLA 11 AHORRO COMBUSTIBLE (PROCESO FOSFATADO)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- 1) El producto que se va a fabricar inicialmente será sólo cocinas y cocinetas que es el mercado de mayor rotación. La planta estará en capacidad de producir otros equipos electrodomésticos en el momento que se crea oportuno.
  
- 2) La planta esté diseñada para trabajar 24 horas al día en turnos rotativos para lo cual se ha determinado que se necesitará una capacidad de caldera de 350 C.C. , trabajando a una presión de 100 Psi, permitiendo cubrir una demanda de vapor para los dos procesos de 4225 Kg/ hr de vapor.
  
- 3) El sistema de combustible de la caldera será dual, permitiendo trabajar con dos tipos de combustible, el Fuel Oil como principal, y el gas Licuado de petróleo como combustible alternativo, este último considerándose competitivo si se analiza factores ambientales y de mantenimiento.

- 4) El dimensionamiento de la tubería principal para el proceso de Decapado será de 6" y para el proceso de Fosfatado será de 4". El retorno de condensado no se aplicará en el tanque con solución de ácido sulfúrico, debido a que puede existir una filtración que afecte a las calderas.
  
- 5) Debe considerarse un adecuado espesor de aislamiento en la que se debe realizar una inversión inicial alta, pero con el tiempo resultará rentable.
  
- 6) En cuanto al aislamiento de las tuberías de vapor, se sugiere realizar una inversión inicial alta, ya que luego de analizar las tablas de ahorro de combustible del capítulo 7, está claro el tiempo de recuperación de la inversión y el posterior ahorro que se puede obtener.

## BIBLIOGRAFIA

1. Vargas Zúñiga A. Calderas industriales y marinas. Editorial VZ, Guayaquil Ecuador, 1964, PP 40-214.
2. Vargas Zúñiga A. Mantenimiento de Calderas industriales y marinas. Editorial VZ, Guayaquil Ecuador, 1962, PP 96-106.
3. Incropera Frank P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley 1990. Tercera Edición.
4. Faires Virgil. Termodinámica. UTEHA. 1991. México. Segunda edición.
5. Marks. Manual del Ingeniero Mecánico. Gráficas Monte Albán, Octava Edición, México, DF, 1995.
6. Trinks W. Normas industriales. Volumen I y II. URVIO. 1971. España. Primera Edición.

7. Trinks W. Homos industriales. Volumen I. URMO. 1971. España.  
Primera Edición.

8. Fox & McDonald. introducción a la mecánica de Fluidos. McGraw  
Hill. Cuarta Edición.