

11  
2 Ejes



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" ARAGON "

" CAUSAS, CONSECUENCIAS Y SOLUCIONES DEL  
FUNCIONAMIENTO DEFECTUOSO DE LOS GENERADORES  
DE VAPOR PARA SERVICIO INDUSTRIAL "

# TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO - ELECTRICO

P R E S E N T A

ALFREDO RAMIREZ SOSA

MEXICO, D. F.

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# **INDICE**

<i>INTRODUCCION</i>	<i>4</i>
<b>CAPITULO 1) CONCEPTOS BASICOS SOBRE LOS GENERADORES DE VAPOR</b>	<b>7</b>
1.1) <i>Conceptos termodinámicos . 8</i>	
1.2) <i>Procesos termodinámicos . 13</i>	
1.3) <i>Definición, componentes y clasificación de los generadores de vapor . 20</i>	
1.4) <i>Medidas de la capacidad de los generadores de vapor . 47</i>	
<b>CAPITULO 2) ARRANQUE Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS GENERADORES DE VAPOR</b>	<b>49</b>
2.1) <i>Generalidades . 50</i>	
2.2) <i>Prueba de hermeticidad . 50</i>	
2.3) <i>Prueba hidrostática . 51</i>	
2.4) <i>Llenado de la caldera . 53</i>	
2.5) <i>Secado del refractario . 53</i>	
2.6) <i>Limpiezas químicas preoperacionales . 55</i>	
2.7) <i>Indicaciones para poner en servicio la caldera . 60</i>	
2.8) <i>Reglas preoperacionales para operación . 60</i>	
2.9) <i>Encendido inicial de la caldera . 61</i>	
<b>CAPITULO 3) OPERACION DE LOS GENERADORES DE VAPOR</b>	<b>71</b>
3.1) <i>Generalidades . 72</i>	
3.2) <i>Descripción de los sistemas . 72</i>	
3.3) <i>Parámetros a controlar y precauciones que se deben tomar durante la operación . 77</i>	

<b>CAPITULO 4) PROBLEMAS Y SOLUCIONES DURANTE LA OPERACION DE LOS GENERADORES DE VAPOR</b>	<b>91</b>
4.1) Generalidades . 92	
4.2) Principales problemas y algunas soluciones para remediarlos y prevenirlos . 93	
<b>CAPITULO 5) MANTENIMIENTO DE LOS GENERADORES DE VAPOR</b>	<b>131</b>
5.1) Generalidades . 132	
5.2) Tipos de mantenimiento . 132	
5.3) Grupo de mantenimiento . 133	
5.4) Inspecciones preliminares . 134	
5.5) Programa de mantenimiento preventivo . 135	
5.6) Mantenimiento básico para cualquier equipo de generación de vapor . 135	
5.7) Programa de mantenimiento que se aplica a los sistemas de generación de vapor en el Centro Médico "La Raza" del IMSS . 137	
<b>CAPITULO 6) ANALISIS ECONOMICO POR MAL FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE VAPOR</b>	<b>144</b>
6.1) Generalidades . 145	
6.2) Bases y cálculo de las pérdidas económicas por mal funcionamiento . 145	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>164</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## INTRODUCCIÓN

Siendo los generadores de vapor equipos de producción de energía térmica, utilizada directa o indirectamente en la elaboración de bienes y servicios para la satisfacción de algunas de las necesidades humanas, no podrían estar exentos de problemas y fallas debido a su operación continua .

Estos problemas y fallas repercuten seriamente en la economía de las empresas que utilicen dichos equipos, pero lo más grave de esto se presenta cuando las fallas tienen consecuencias fatales para el personal humano operativo .

Es por todo esto que, sea cual fuere la utilidad que se le dé al vapor producido (ya sea para generación de potencia o para procesos industriales), es muy importante operar los generadores de vapor cuidadosa y eficazmente y dar el mantenimiento más adecuado aun antes de que los equipos así lo requieran, para evitar o reducir al máximo posible que cualquier falla se pueda presentar, con las consecuencias ya mencionadas .

Como el título lo indica, la finalidad y objetivo principal del presente trabajo, consiste en encontrar las causas, mostrar las consecuencias y señalar las soluciones posibles a los principales problemas que generalmente se pueden presentar, debido a una operación constante y continua de los generadores de vapor .

El trabajo consta de seis capítulos que en forma general contienen los siguientes puntos :

En el primer capítulo se mencionan los conceptos fundamentales de la termodinámica, tales como volumen específico, presión, temperatura, densidad, entalpía, entropía, trabajo y calor, calor específico, sustancia pura, sustancia simple, primera y segunda ley de la termodinámica, ciclos termodinámicos como son el ciclo de Rankine simple, el de recalentamiento, el regenerativo, así como el ciclo de Carnot; así mismo se señalan los generadores de vapor, lo que son, para que sirven, como están compuestos y la clasificación que en una forma general de ellos se hace .

El capítulo número dos muestra el arranque y la puesta en servicio: pruebas hidrostáticas y de hermeticidad, llenado de la caldera, secado del refractario, limpiezas químicas preoperacionales así como el encendido inicial de la caldera son mencionados también en este capítulo .

Continuando con el tercer capítulo en el que se indican entre otras cosas, la operación de los generadores de vapor, se describe además en forma sistemática el funcionamiento de los sistemas de agua - vapor y el de aire - gases, así como los parámetros y variables que se deben controlar durante esta etapa, tales como temperaturas de entrada y salida del agua y del vapor, presiones, indicadores de nivel, análisis del agua, análisis de combustible, control de temperatura de gases de combustión, así como los de salida, control del tiro (forzado e inducido), operación de equipos como precalentadores de aire, sopladores de hollín, válvulas, - atemperadores, etc ..

El capítulo cuarto que junto con el sexto, constituyen los temas centrales de este trabajo, muestra los problemas más comunes que se llegan a presentar durante la operación de los generadores de vapor, tales como corrosión interna y externa de las superficies de calefacción, incrustaciones por contaminación de agua, combustión inadecuada, formación de depósitos, fallas por mal diseño, etc ., se señalan las causas a dichos problemas, las consecuencias que se originan por estos, - así como las medidas que deben tomarse para tratar de solucionar o reducir estos problemas . De especial interés dentro de este mismo capítulo cuarto, considero - que son los temas en que se muestra lo referente a los métodos de tratamiento del agua, así como también lo concerniente al exceso de aire para la combustión .

Por otro lado, se añaden algunos esquemas de equipos para el tratamiento del - agua, así como algunas gráficas que considero pueden ser de gran utilidad como - una consulta complementaria .

El capítulo número cinco trata lo referente al mantenimiento, que es, para que sirva, cuando debe aplicarse el mantenimiento preventivo y cuando el correctivo, se agrega además un programa específico de mantenimiento de una caldera con todas las etapas que deberán cubrirse durante este .

El capítulo sexto como señalaba con anterioridad, es junto con el cuarto capítulo donde se resume la importancia de este trabajo . En este capítulo se hace un balance económico por mal funcionamiento de los equipos, es decir, se evalúan las pérdidas económicas debido a paros y suspensiones de servicio, provocados por fallas o problemas en algunos de los equipos generadores .

Se toman como base algunos datos conocidos y a partir de estos, se realizan - todos los cálculos .

Me sentiría muy satisfecho de que este trabajo que he podido elaborar con la valiosa ayuda de muchas personas, pudiera servir en alguna forma aunque sólo sea mínima, para complementar lo estudiado por todas aquellas personas que estén interesadas en el tema .

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer infinitamente a todas aquellas personas, que de una manera u otra colaboraron con sus valiosos comentarios, sugerencias, datos y críticas para la realización de este trabajo de tesis .

ALFREDO RAMÍREZ SOSA

*CAPITULO NO. 1*

**CONCEPTOS BASICOS SOBRE LOS  
GENERADORES DE VAPOR .**



## C A P I T U L O I

### CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LOS GENERADORES DE VAPOR .

#### 1.1) Conceptos Termodinámicos

Termodinámica .- es una rama de las ciencias físicas que estudia la energía, sus transformaciones y lo relacionado con dichas transformaciones .

Sistemas termodinámico .- es una porción limitada del espacio de volumen no necesariamente constante, en el cual concentramos nuestra atención para el estudio - de las variaciones de energía y / o masa .

Frontera y medio ambiente .- cualquier cosa externa al sistema es el espacio exterior y se le llama medio ambiente . El sistema está separado del espacio exterior por los límites del sistema, los que pueden ser móviles o fijos, estos límites forman la frontera del sistema .

Sistema cerrado .- es aquel que permite el flujo de energía, pero no el de masa .

Sistema abierto .- es aquel que permite tanto el flujo de energía como el de masa.

Sistema aislado .- no permite ni el flujo de masa ni el de energía .

Estado termodinámico .- el estado de una sustancia pura en sus formas líquida y gaseosa, se define por dos propiedades intensivas independientes, por ejemplo, - presión y temperatura . Si estas dos propiedades se especifican, el estado de la sustancia queda definido .

Proceso termodinámico .- es el mecanismo mediante el cual un sistema cambia de - estado, este proceso se visualiza como una trayectoria entre dos puntos en el es pacio y en particular, si estos dos puntos coinciden el proceso es un ciclo . Los procesos pueden ser reversibles e irreversibles .

Proceso reversible .- es un proceso que una vez realizado, puede invertirse sin provocar cambio alguno ni en el sistema ni en el medio ambiente .

Proceso irreversible .- es aquel que no puede invertirse una vez realizado, a me nos que se le aplique una fuerza .

Propiedad termodinámica .- es cualquier característica del sistema que puede en principio valorarse cuantitativamente por ejemplo volumen, masa, temperatura, pre

sión, etc. Las propiedades son cualidades que la materia posee y dependen únicamente del estado o condición física del sistema, siendo independientes de la trayectoria por la cual se haya alcanzado dicho estado.

Propiedades Intensivas .- son propiedades independientes de la masa, por ejemplo, presión, temperatura, densidad, etc..

Propiedades Extensivas .- son las que varían directamente con la masa, por ejemplo, masa y volumen totales. Las propiedades extensivas dadas por unidad de masa por ejemplo, volumen específico, se vuelven propiedades intensivas.

Volumen Específico .- se define como el volumen por unidad de masa. La densidad de una sustancia se define como la masa por unidad de volumen; el volumen específico y la densidad son propiedades intensivas.

Sustancia Pura .- una sustancia pura es aquella que tiene una composición química homogénea e invariable, dicha sustancia puede existir en cualquiera de las tres fases: sólida, líquida o gaseosa. Bajo una condición particular las tres fases pueden coexistir (punto triple).

Sustancia Simple .- es aquella que sólo tiene una forma de realizar trabajo.

Existen varios tipos de sustancias simples de acuerdo a esa única forma de realizar trabajo, siendo las principales las siguientes: sustancia simple compresible, magnética, dieléctrica.

Sustancia Simple Compresible .- es aquella que tiene como única forma de realizar trabajo el cambio de volumen.

Sustancia Simple Magnética .- tiene mediante la magnetización su forma de realizar trabajo, mientras que la sustancia dieléctrica la tiene mediante su polarización dieléctrica.

Fase .- se define como una cantidad homogénea en todas sus partes. Cuando está presente más de una fase, las fases están separadas por los límites de fase. En cada fase la sustancia puede existir a varias presiones y temperaturas, es decir en varios estados.

Energía Interna .- representa la energía asociada a las translaciones moleculares relativas a la rotación molecular, vibración, fuerzas de enlace, etc., es decir es la energía asociada a todas las formas microscópicas y donde las may--

rias permanecen ocultas desde un punto de vista macroscópico .

Trabajo y calor .- sólo existen dos formas de transmisión de energía, y estas son el trabajo y el calor . El trabajo mecánico es una transmisión de energía a una partícula, lo que se pone de manifiesto por los cambios de posición relativa que experimenta la partícula mientras está sometida a la acción de una fuerza .

El trabajo macroscópico o mecánico es pues una manera de comunicar o transmitir energía a un sistema . Toda variación de energía que sólo es observable por un incremento de la temperatura, o bien por un decremento de ésta o por un cambio de fase, se debe a una transmisión de energía en forma de calor; el calor es pues la energía que se transmite en forma de trabajo macroscópico . Por lo tanto, la energía es una propiedad de la materia, mientras que el calor y el trabajo son interacciones de energía entre dos cuerpos (sistemas) .

Temperatura termodinámica .- las sustancias poseen ciertas propiedades relacionadas con la temperatura y que son susceptibles de ser medidas, como por ejemplo, la longitud, el volumen, la resistividad eléctrica, etc ., la medición del valor de dichas propiedades, permite la determinación indirecta del valor de la temperatura . Estas propiedades se afectan por la actividad molecular, así por ejemplo, cuando decimos que un cuerpo está más caliente que otro, queremos decir que éste tiene mayor temperatura, esto se debe a que la actividad molecular de dicho cuerpo es mayor que la del otro . Podemos decir que la temperatura es una propiedad de un cuerpo relacionándola con su actividad molecular .

Equilibrio térmico .- cuando dos cuerpos están a diferentes temperaturas y se ponen en contacto entre sí, el que tenga mayor temperatura la disminuirá y el que tenga menor la aumentará, hasta que ambos tengan la misma temperatura, entonces decimos que ambos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico o termodinámico .

Temperatura absoluta .- sobre la base de la segunda ley de la termodinámica se puede definir una escala de temperaturas, independiente de cualquier sustancia termométrica; esta escala de temperatura absoluta se llama con frecuencia escala termodinámica de temperaturas .

$$\text{Escala absoluta} \quad ^\circ K = ^\circ C + 273^{\circ}$$

$$\text{Escala Rankine} \quad ^\circ R = ^\circ F + 460^{\circ}$$

$$\text{Escala Fahrenheit} \quad ^\circ F = ^\circ C (1.8) + 32$$

Ley cero de la termodinámica .- si dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto físico entre sí y ambos se aíslan del medio ambiente, las propiedades de los cuerpos (temperatura, volumen, etc.) variarán. Sin embargo al transcurrir determinado tiempo las propiedades dejan de variar, cuando esto ocurre se dice - que los cuerpos han alcanzado su equilibrio térmico. Si dichos cuerpos se ponen en contacto con un tercer cuerpo, entonces los tres cuerpos están en equilibrio - térmico entre sí.

Primera ley de la termodinámica .- el principio de la conservación de la energía constituye la primera ley de la termodinámica, la cual establece que la energía - no puede crearse ni destruirse sino únicamente convertirse de una forma en otra.

Existen solamente tres manifestaciones de la energía consideradas en la primera ley, a saber: calor, energía interna y trabajo. Aplicada a los cambios que - ocurren en los sistemas cerrados, la primera ley puede enunciarse de la manera - siguiente:

Calor absorbido por el sistema =  
Aumento de su energía interna + trabajo efectuado por el sistema

esto es:  $Q = U + W$

Entalpía .- es una propiedad compuesta aplicable a todos los fluidos y se define como la suma del flujo de trabajo y la energía interna, esto es:

$$H = PV + U$$

Calor específico .- el calor específico de una sustancia se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a una cierta cantidad de masa para elevar su temperatura en un grado. Esta transmisión de energía (generalmente en forma de - calor), depende del tipo de proceso que se lleve a cabo para transmitir la energía. Este proceso puede ser a presión o volumen constante.

$$C = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Segunda ley de la termodinámica .- la segunda ley es una consecuencia de la experiencia y la lógica, la cual se funda en el trabajo de Carnot. Desde el punto de vista macroscópico Kelvin - Planck definieron lo siguiente:

" Es imposible construir un dispositivo que funcione en ciclos termodinámicos y - cuyo único efecto sea el de absorber calor de un depósito térmico y convertirlo en

te calor en trabajo". En términos de la máquina térmica significa que es imposible construir un depósito térmico con una eficiencia del 100%, es decir siempre - habrá una fracción del calor suministrado que tenga que cederse al cuerpo de menor temperatura.

El enunciado de Clausius correspondiente a la segunda ley de la termodinámica dice lo siguiente: "Es imposible un proceso cuyo único fin sea la transferencia de calor de un depósito de menor temperatura a otro de mayor temperatura sin suministro de trabajo". En términos de un refrigerador significa que es imposible - construir un refrigerador con un coeficiente de realización infinito. Debido a - estos aspectos, también se conoce a la segunda ley de la termodinámica como "ley de la degradación de la energía".

Entropía .- un proceso irreversible es aquel en que hay un aumento de entropía - considerando al sistema y a su medio, de acuerdo con la segunda ley se puede escribir como :

$$\Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{medio circundante}} \geq 0$$

Esta igualdad se aplica cuando la operación total es reversible. Observaremos que la entropía es unidireccional y siempre creciente, y además que el cambio de entropía es una medida de la cantidad de energía perdida.

Desde un punto de vista macroscópico se define como :

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \geq 0$$

$$\Delta S > 0 \quad \text{Proceso irreversible}$$

$$\Delta S = 0 \quad \text{Proceso reversible}$$

Desde un punto de vista microscópico, a la entropía se le define como: "Una medida del desorden medio de las partículas a escala microscópica". La entropía puede emplearse con otras propiedades ( $T, P, V, U, H$ ) para la representación gráfica de variaciones de estado. Los diagramas más corrientes son los de temperatura - entropía y entalpía - entropía. Este último se denomina diagrama de Molliere y es de suma utilidad cuando se trabaja con medios cuyas condiciones de trabajo son tales que se pasa de estado líquido al de vapor y viceversa.

## 1.2) Procesos Termodinámicos

### Ciclos de Fuerza de Vapor

Ciclo termodinámico .- decimos que una sustancia de trabajo experimenta un ciclo, cuando dicha sustancia pasa por varios procesos o cambios, volviendo finalmente a su estado inicial . (Todas las propiedades tienen el mismo valor que al iniciar se el ciclo) .

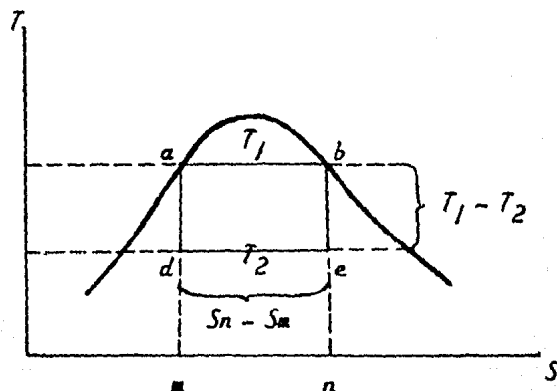
#### Elementos de un ciclo

Los elementos esenciales de un ciclo termodinámico son :

- Una sustancia de trabajo consistente en un medio para recibir y rechazar o ceder energía .
- Una fuente calorífica o depósito de calor, dentro del cual se añade calor a la sustancia de trabajo .
- Un sumidero de calor o cuerpo frío, que es un cuerpo al cual la sustancia de trabajo rechaza o cede calor .
- Un motor o máquina en el cual la sustancia de trabajo puede realizar trabajo o bien, recibir el que se haga sobre ella .

#### Ciclo de Carnot

El ciclo de Carnot consiste de dos procesos isotérmicos y dos procesos adiabáticos o isoentrópicos . En el siguiente diagrama de T-S (temperatura - entropía), se muestra la secuencia de este ciclo .



- a - b) La energía se añade a la sustancia de trabajo en un proceso isotérmico .  
 b - c) La sustancia se expande a lo largo de un proceso isentrópico, durante el cual no se añade ni se extrae energía en forma calorífica .  
 c - d) El calor es rechazado o cedido al depósito frío a temperatura constante .  
 d - a) La sustancia se comprime isentrópicamente hasta el punto inicial, completando con esto la secuencia del ciclo .

NOTA : El problema principal del ciclo de Carnot, es que en la práctica se han encontrado grandes dificultades para construir una bomba que opere la mezcla de líquido y vapor, y la entregue como líquido saturado .

La eficiencia o rendimiento de un ciclo de Carnot, se calcula como sigue :

$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{\text{sum.}}} = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A} = 1 - \frac{Q_B}{Q_A}$$

Donde

$Q_A$  -- calor suministrado ;  $Q_B$  -- calor rechazado

y de la igualdad

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{T_A}{T_B} \quad \text{o} \quad \frac{Q_B}{Q_A} = \frac{T_B}{T_A}$$

donde

$T_A$  -- temperatura inicial ;  $T_B$  -- temperatura final

y por lo tanto, sustituyendo en la ecuación de la eficiencia tenemos que

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

lo que significa que si se conoce el rendimiento térmico del ciclo de Carnot que opera entre dos depósitos de temperaturas diferentes constantes dadas, también se conocerá la relación de las temperaturas absolutas .

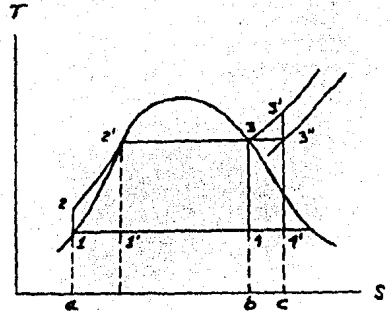
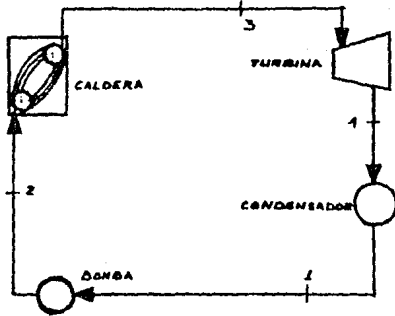
### Ciclo de Rankine

Se considera como el ciclo ideal para una planta de fuerza de vapor . Los procesos comprendidos en este ciclo son :

- 1 - 2) Proceso reversible y adiabático de bombas en la bomba .
- 2 - 3) Transmisión de calor a presión constante en la caldera .
- 3 - 4) Expansión reversible y adiabática en la turbina (o en otra máquina motriz)

tal como una máquina de vapor).

4 - 1) Transmisión de calor a presión constante en el condensador .



El ciclo Rankine también incluye la posibilidad de sobrecalentar el vapor, como en el ciclo  $1-2-2'-3-4-1$ . Si los cambios de energía cinética y potencial se consideran despreciables, la transmisión de calor y el trabajo pueden representarse por medio de áreas en el diagrama  $T-S$ . El calor transmitido a la sustancia de trabajo está representado por el área  $a-2-2'-3-b-a$  y el calor rechazado por la sustancia de trabajo, por el área  $a-1-1'-b-a$ . De la primera ley concluimos que el área representante del trabajo es la diferencia entre aquellas dos áreas, área llamada,  $1-2-2'-3-4-1$ . El rendimiento térmico está definido por la relación

$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{\text{sum.}}} = \frac{\text{área } 1-2-2'-3-4-1}{\text{área } a-2-2'-3-b-a}$$

Para este ciclo, la eficiencia térmica indicada en función de las entalpías, queda de la manera siguiente :

$$W_{\text{neto}} = W_{\text{turbina}} - W_{\text{bomba}}$$

$$W_{\text{turbina}} = h_3 - h_4 \quad ; \quad W_{\text{bomba}} = h_2 - h_1 \quad ; \quad Q_{\text{sum.}} = h_3 - h_2$$

por lo que la eficiencia térmica será :

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)}$$

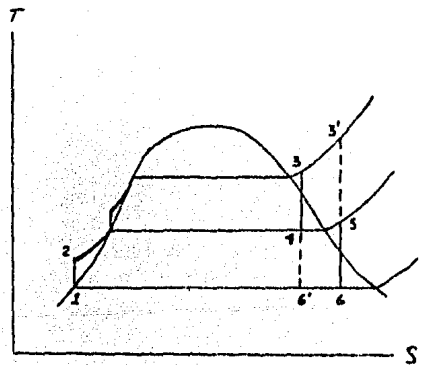
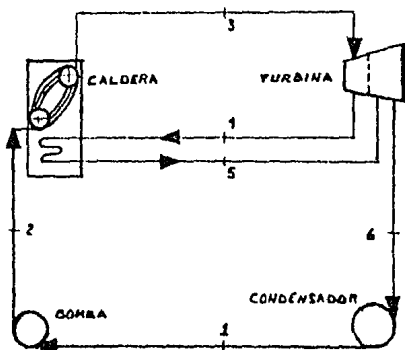


El ciclo de Rankine tiene un rendimiento más bajo que el ciclo de Carnot, para las mismas temperaturas máximas y mínimas, porque la temperatura promedio entre  $2$  y  $2'$  es menor que la temperatura durante la evaporación. Pero se ha seleccionado el ciclo Rankine como el ideal para una planta de fuerza, principalmente por dos razones. La primera involucra el proceso de bombeo: el estado  $1'$  es una mezcla de líquido y vapor y se han encontrado grandes dificultades para construir una bomba que opere la mezcla de líquido y de vapor en  $1'$  y la entregue como líquido saturado en  $2'$ . Es mucho más fácil condensar completamente y que sólo opere líquidos la bomba, el ciclo Rankine se basa en este hecho. La segunda razón involucra el sobrecalentamiento del vapor, en el ciclo Rankine el vapor se sobrecalienta a presión constante, en el proceso  $3-3'$ , y en el ciclo de Carnot toda la transmisión de calor se hace a temperatura constante, y por lo tanto el vapor se sobrecalienta durante el proceso  $3''-3$ . Sin embargo durante este proceso la presión desciende, esto significa que debe transmitirse calor al vapor cuando está sometido a un proceso de expansión, durante el cual el trabajo es ejecutado, esto también es muy difícil de realizar en la práctica.

De esta manera el ciclo de Rankine es el ciclo ideal al que podemos aproximar nos más en la práctica.

### Ciclo con Recalentamiento

El rendimiento del ciclo de Rankine puede incrementarse aumentando la presión durante la adición de calor; sin embargo esto aumenta el contenido de humedad en el vapor de salida de baja presión de la turbina. El ciclo se muestra esquemáticamente en el siguiente diagrama de  $T-S$ .



El único defecto de este ciclo es que el vapor se expande en alguna presión intermedia en la turbina y luego se recalienta en la caldera, después de que se expande en la turbina a la presión de salida.

Del diagrama  $T - S$ , es evidente que hay muy poca ganancia en el rendimiento por el recalentamiento del vapor, porque el promedio de temperatura al cual el calor se suministra, no cambia mucho. La ventaja principal es la disminución de la humedad, contenida en los pasos de baja presión de la turbina, a valores seguros. Se advierte también, que si pudieran encontrarse materiales que nos permitieran sobrecalentar el vapor hasta  $3'$ , el ciclo Rankine simple, sería más eficiente que el ciclo de recalentamiento, y entonces no sería necesario este ciclo.

La eficiencia de este ciclo se calcula de la manera siguiente:

$$\eta = \frac{W_{\text{turbina de alta presión}} + W_{\text{turbina de baja presión}} - W_{\text{bomba}}}{Q_{\text{suministrado}}}$$

$$W_{\text{turbina de alta presión}} = h_3 - h_4$$

$$W_{\text{turbina de baja presión}} = h_6 - h_5$$

$$W_{\text{bomba}} = h_2 - h_1 \quad ; \quad Q_{\text{sum. en la caldera}} = h_3 - h_2$$

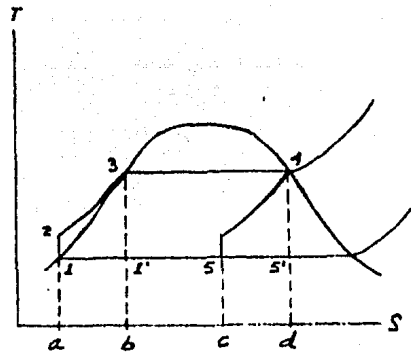
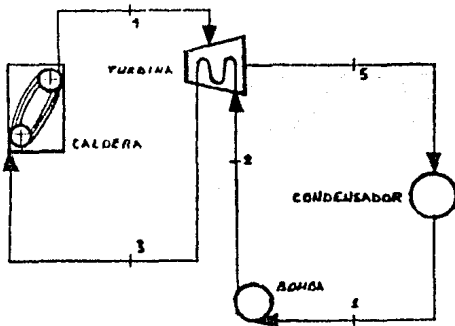
$$Q_{\text{sum. en recalentamiento}} = h_5 - h_4$$

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4) + (h_6 - h_5) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)}$$

### Ciclo Regenerativo

En el ciclo regenerativo, la sustancia de trabajo entra a la caldera en algún estado entre  $2$  y  $2'$ , y por lo tanto la temperatura promedio a la cual se añade calor, se incrementa. El único defecto de este ciclo, en comparación con el de Rankine, es que después de salir de la bomba, el líquido circula alrededor de la camisa de la turbina, en sentido contrario a la dirección del vapor que fluye en la turbina; de esta manera, es posible transmitir calor del vapor, tal como fluye en la turbina, al líquido que circula alrededor de ella.

Se considera primero el ciclo regenerativo ideal representado por la siguiente figura:



Pensemos por un momento, que esta es una transmisión reversible de calor; o sea, que en cada punto la temperatura del vapor es sólo una infinitésima más grande que la del líquido. En este caso la línea 4-5 en el diagrama  $T - S$  mencionado anteriormente, representa los estados del vapor que fluye a través de la turbina y es exactamente paralela a la línea 1-2-3, que representa el proceso de bombeo (1-2) y los estados del líquido que circulan alrededor de la turbina.

En consecuencia, las áreas 2-3-b-a-2 y 4-5-d-c-5 no sólo son iguales sino congruentes y representan respectivamente, el calor transmitido al líquido y el calor transmitido del vapor.

El calor se transmite a la sustancia de trabajo en un proceso a temperatura constante durante 3-4, y el área 3-4-d-b-3 representa este calor. El calor se transmite de la sustancia de trabajo durante 5-1, y el área 1-5-c-a-1 representa este calor; por otra parte se advierte que esta área es exactamente igual al área 1-5-d-b-1', que representa el calor cedido en el ciclo de Carnot mencionado 1-2-3-4-5-1'. De esta manera, este ciclo regenerativo ideal tiene un rendimiento exactamente igual al rendimiento del ciclo de Carnot, con la misma temperatura de adición y sustracción de calor.

Es obvio que este ciclo regenerativo ideal no es práctico. Primero que todo, no sería posible efectuar la transmisión de calor necesaria del vapor en la turbina, al líquido del agua de alimentación, además la humedad contenida en el vapor que sale de la turbina aumenta considerablemente como resultado de la transmisión de calor, lo que es de mucha gravedad para los elementos motrices.



### 1.3) Definición, Componentes y Clasificación de los Generadores de Vapor .

#### Definición .

Generador de vapor .- antiguamente llamado caldera, se define como un conjunto de dispositivos interconectados entre sí y cuya función es convertir algún líquido - (generalmente agua) en vapor a una presión y temperatura predeterminada, a partir del calor que cede algún combustible al quemarse .

#### Componentes .

Los generadores de vapor se componen de equipo principal (hogar, sobrecalentadores, recalentadores, economizadores, precalentadores de aire, atemperadores, tubos pantalla, banco generador y equipo de combustión); y equipo auxiliar (sopladores de - hollín, ventiladores y chimenea entre otros) .

A continuación se describen cada uno de los componentes mencionados .

Hogar .- es el lugar que se encuentra en contacto directo con las flamas y donde - se lleva a cabo la combustión y por tanto donde se presentan las temperaturas más elevadas del sistema; está constituido por las paredes laterales, pared de quemado res, pared frontal, pared divisoria, piso y techo, las cuales en la mayoría de los casos, están constituidas por tubos ya sea soldados entre sí o con membrana, para formar un sello completo en el hogar y así evitar fugas de los gases de combustión hacia el exterior (Figura No. 1).

El hogar es totalmente enfriado por agua por medio de una superficie que absorbe el calor de radiación, asegurando la reducción de la temperatura de los gases - de combustión a un nivel en el que la zona de convección se mantenga lo suficiente mente limpia, ya que cuando la temperatura de salida de los gases es alta, el ho - llín puede adherirse con mayor facilidad y la necesidad de limpieza en la zona de convección puede ser excesiva .

Sobrecalentadores .- están formados por un sistema de tubos que se interponen al - paso de los gases . El sobrecalentador es el elemento importante de la unidad gene radora al que se le inyecta vapor saturado de la misma caldera, de modo que el va - por recibe una cantidad adicional de calor, que procede de los gases de combustión, esta transferencia de calor eleva la temperatura del vapor y aumenta su volumen a presión constante . La producción de vapor a temperaturas mayores que la de satura ción recibe el nombre de sobrecalentamiento, la temperatura agregada se llama el -

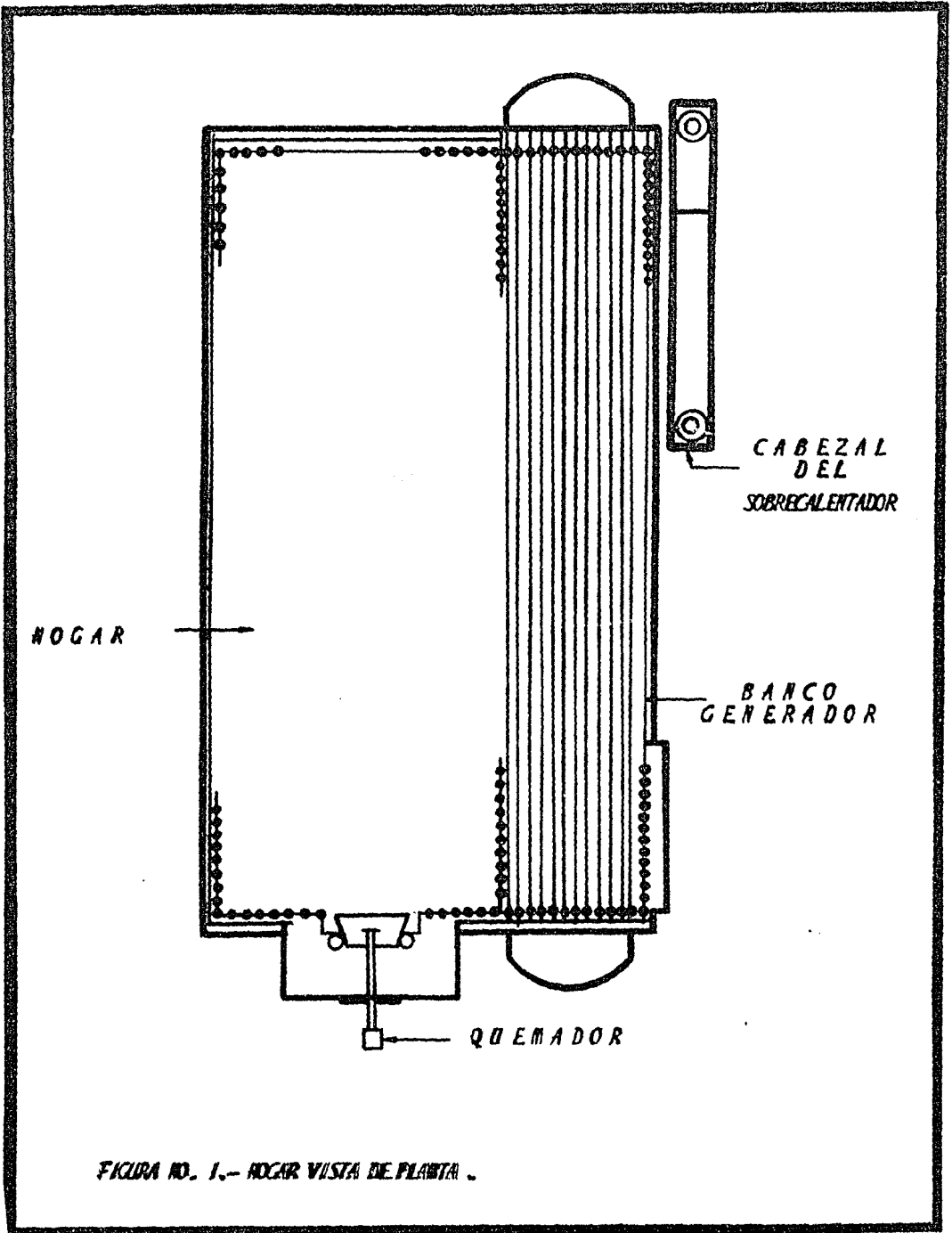


FIGURA NO. 1.- HOGAR VISTA DE PLANTA .

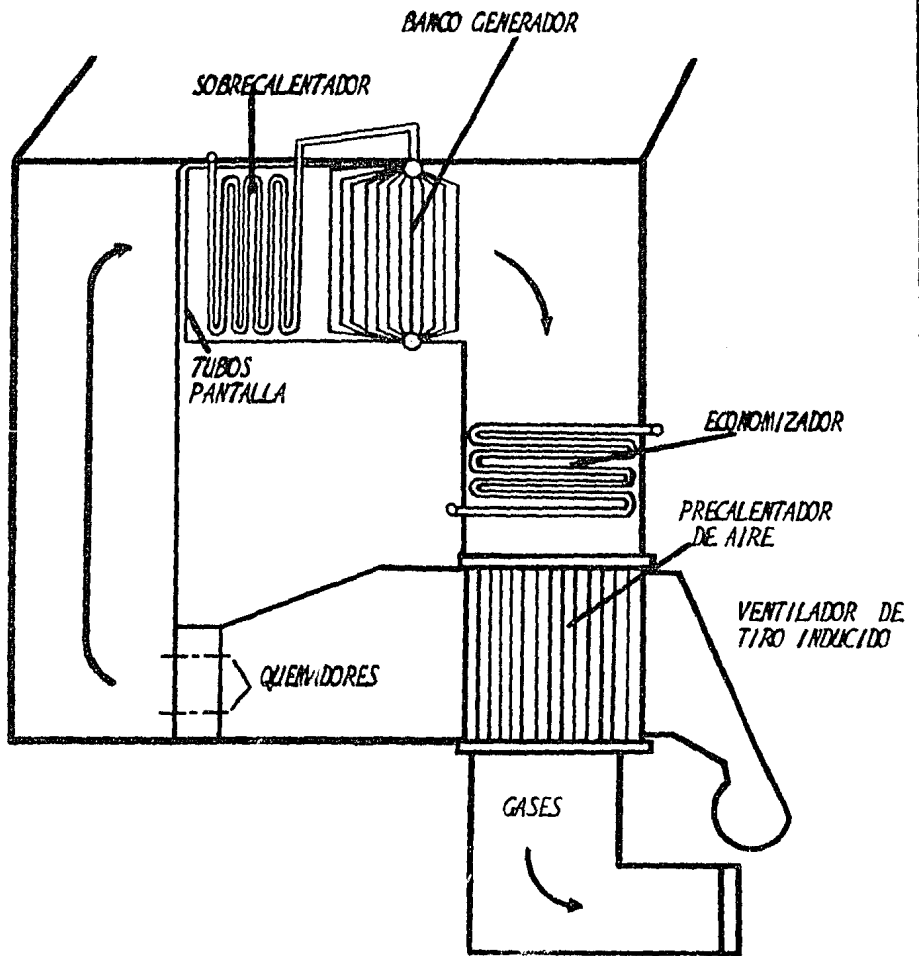


FIGURA No. 2 - CORTE ESQUEMATICO DE UNA CALDERA

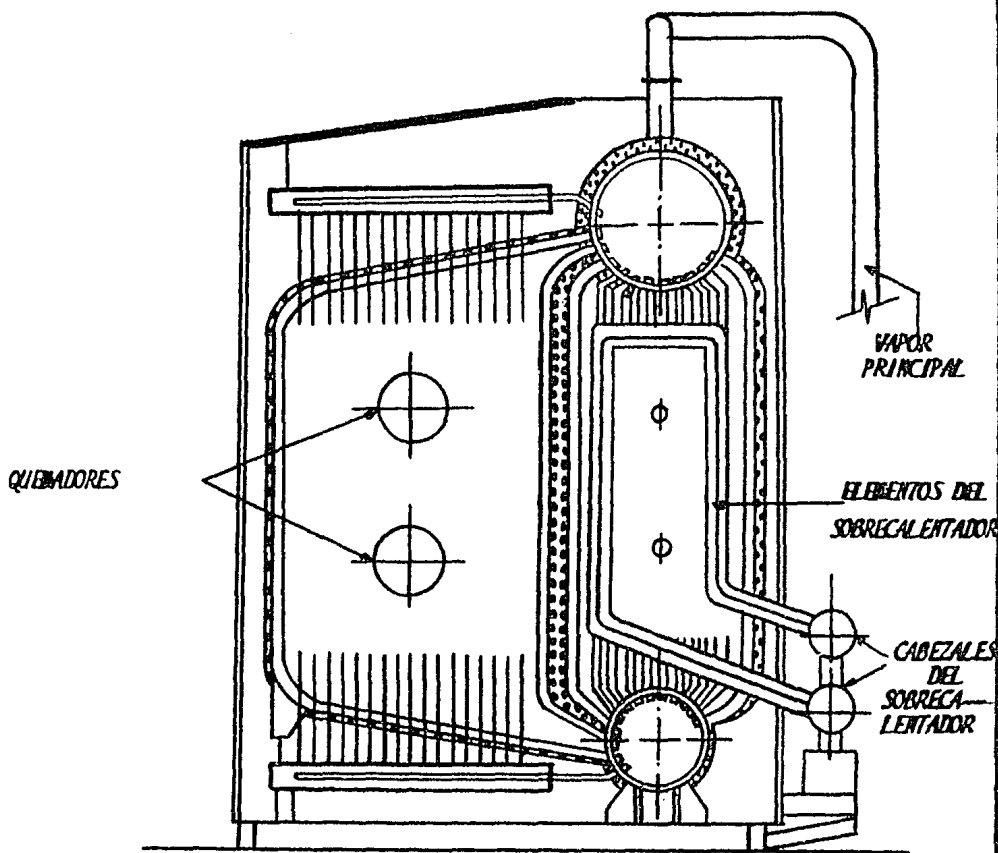


FIGURA NO. 3.- LOCALIZACION DEL SOBRECALENTADOR .



grado de sobrecalentamiento . La transferencia de calor en un sobrecalentador puede ser por convección, radiación o por una combinación de ambas formas de calefacción, lo que depende de su localización dentro de la estructura de la caldera, con respecto al fogón y de los medios que dispone para la recepción de calor .

Los sobrecalentadores de radiación son aquellos que se hayan expuestos al calor radiante del fogón; los de convección son aquellos que se instalan en el trayecto de los gases de combustión, pero que están protegidos contra la radiación directa del fuego del hogar . En la práctica lo más conveniente es emplear un sistema combinado, con el fin de lograr una temperatura constante o aproximadamente constante para todo el ranjo de capacidad de la caldera .

El sobrecalentador está localizado antes o sobre el banco generador de manera - de protección de la llama o de las altas temperaturas de los gases (Figuras 2 y 3).

Equipos de recuperación de calor .- el nivel de la temperatura de los gases de combustión a la salida del banco generador es de 650 a 1000°F . Si los gases se escapan a la atmósfera a esa temperatura, las pérdidas de eficiencia de la caldera - serían intolerables . Por medio de los equipos de recuperación de calor se ofrece la oportunidad de absorber el calor residual de los gases aumentando la eficiencia de la caldera . Los principales equipos para esta función son: recalentador, economizador y precalentador de aire .

Recalentador .- este equipo se emplea para aprovechar el calor residual de los gases de combustión para sobrecalentar el vapor proveniente de alguna etapa intermedia de la turbina y lograr con esto incrementar la eficiencia termodinámica del ciclo y minimizar el problema de formación de condensado en la turbina .

Hay dos métodos para recalentar el vapor, ambos utilizan el calor de los gases de combustión del hogar para eliminar la humedad restante y aumentar la temperatura del vapor, estos métodos son: recalentamiento por convección y por radiación .

Los recalentadores que toman su energía de los gases de la chimenea se denominan de convección, y los que quedan expuestos a la energía radiante de las llamas, se conocen con el nombre de recalentadores de radiación .

Economizador .- se define como una sección independiente de superficie de intercambio de calor, destinada a recuperar el calor de los gases de escape, para retornarlos en forma de calor útil al agua de alimentación antes de que ésta se mezcle con el agua que circula en la caldera .

Este calor recuperado que se aprovecha al del sistema, mejora la economía de la unidad y de este hecho se deriva su denominación de economizador. Los economizadores tienen un arreglo en forma de banco de tubos conectados por dos cabezales (Figura No. 4). A través de los tubos pasa el agua de alimentación justamente antes de alimentarla a la caldera; los gases de combustión al abandonar las superficies de convección de la caldera, pasan por los tubos del economizador y de esta manera calientan el agua, como ésta agua tiene una temperatura más baja que la del vapor que se encuentra en la caldera, la transmisión de calor en esta sección es más efectiva que en las superficies de convección de la caldera.

Para prevenir la evaporación del agua en el economizador, la temperatura de aquella a la salida de éste último, deberá ser por lo menos 5°F abajo de su temperatura de saturación.

Los economizadores pueden ser de dos tipos: Integral y Adyacente.

El economizador integral se caracteriza por baterías de tubos verticales localizados dentro del cuerpo de la caldera; se usa únicamente con las calderas de tubos curvados. Aún cuando el economizador integral se emplea como último retorno, puede ser también del tipo intertubular cuyos elementos se instalan entre tubos de una batería de convección de la caldera. Esta disposición facilita un diseño sencillo, compacto y económico eliminando el costo de estructuras y soportes adicionales.

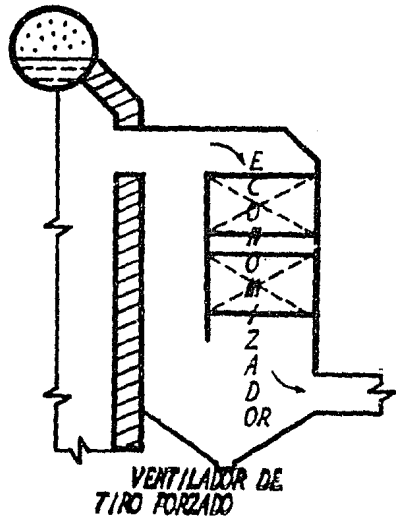
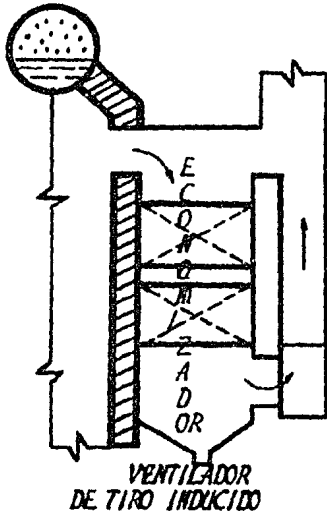
Los economizadores adyacentes se caracterizan por su construcción de tubos horizontales, colocados en hileras cerradas, dispuestos por lo general en forma alternada, los gases de combustión fluyen transversalmente al eje longitudinal de los tubos.

**Precalentador de Aire.** - para recuperar algo o todo el calor residual de los gases se usan precalentadores para aumentar la temperatura del aire necesario para la combustión. Su función no se limita a elevar la eficiencia de la caldera, sino a proporcionar las condiciones necesarias para la combustión en el hogar, produciendo una alta temperatura y un mejor tiempo de ignición, ambos casos repercuten en una disminución del consumo de combustible.

Existen tres tipos de precalentadores de aire:

a) Precalentador de aire a vapor. - está localizado antes de otro tipo de precalentador, es decir, a la descarga del ventilador de tiro forzado, dentro del ducto de aire (Figura No. 5). Es un tubo en forma de serpiente por el cual circula vapor -

VERTICAL



DOBLE PASO

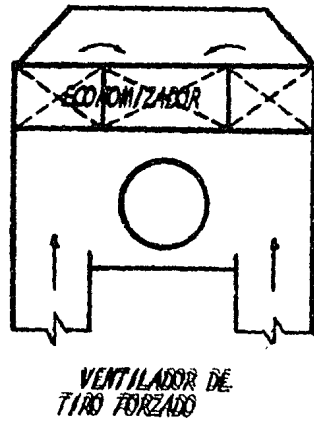
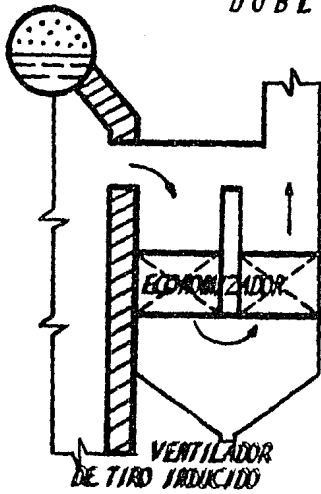


FIGURA No. 4. — DISPOSICION DEL ECONOMIZADOR.

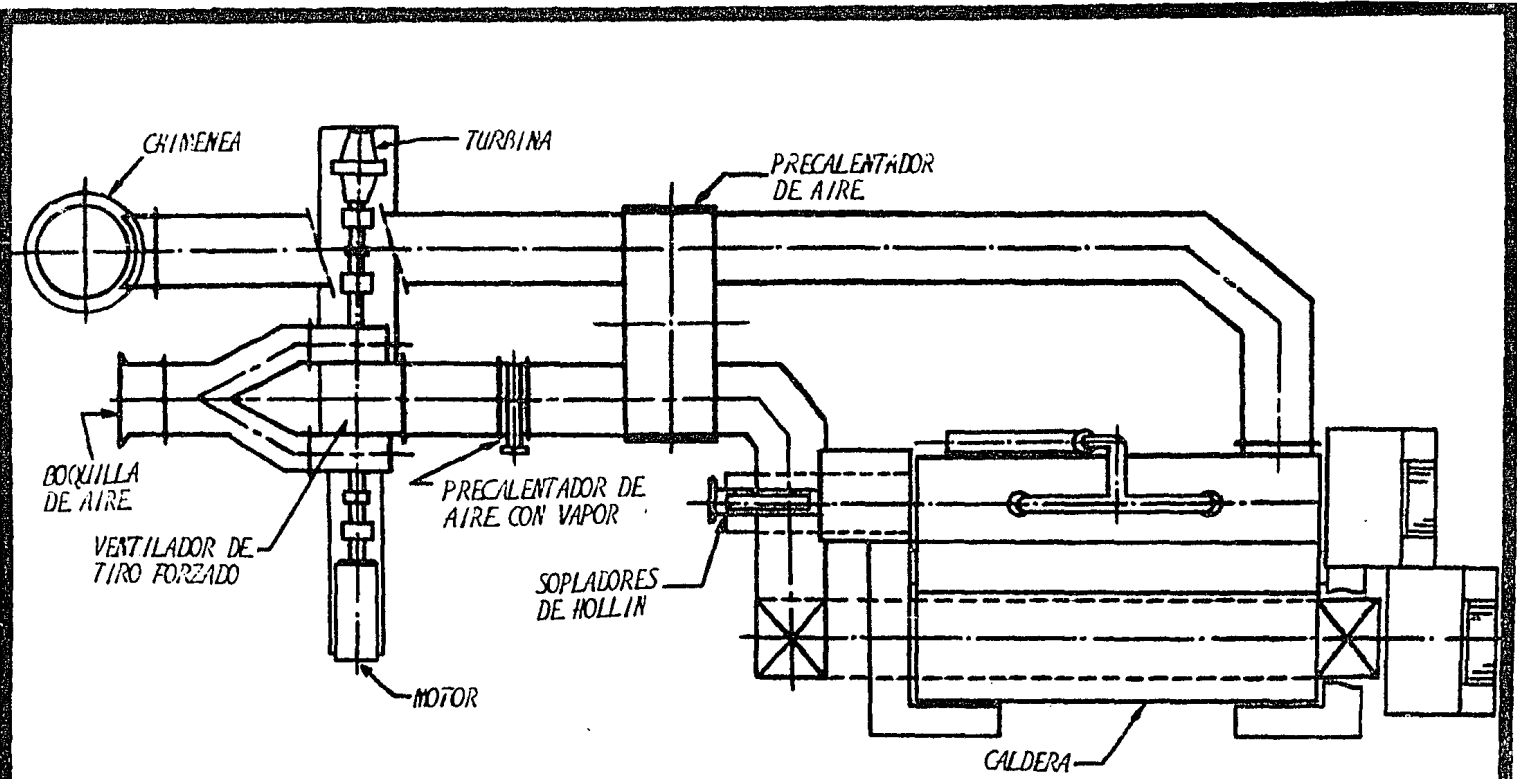


FIGURA NO. 5.- GENERADOR DE VAPOR VISTA DE PLANTA .

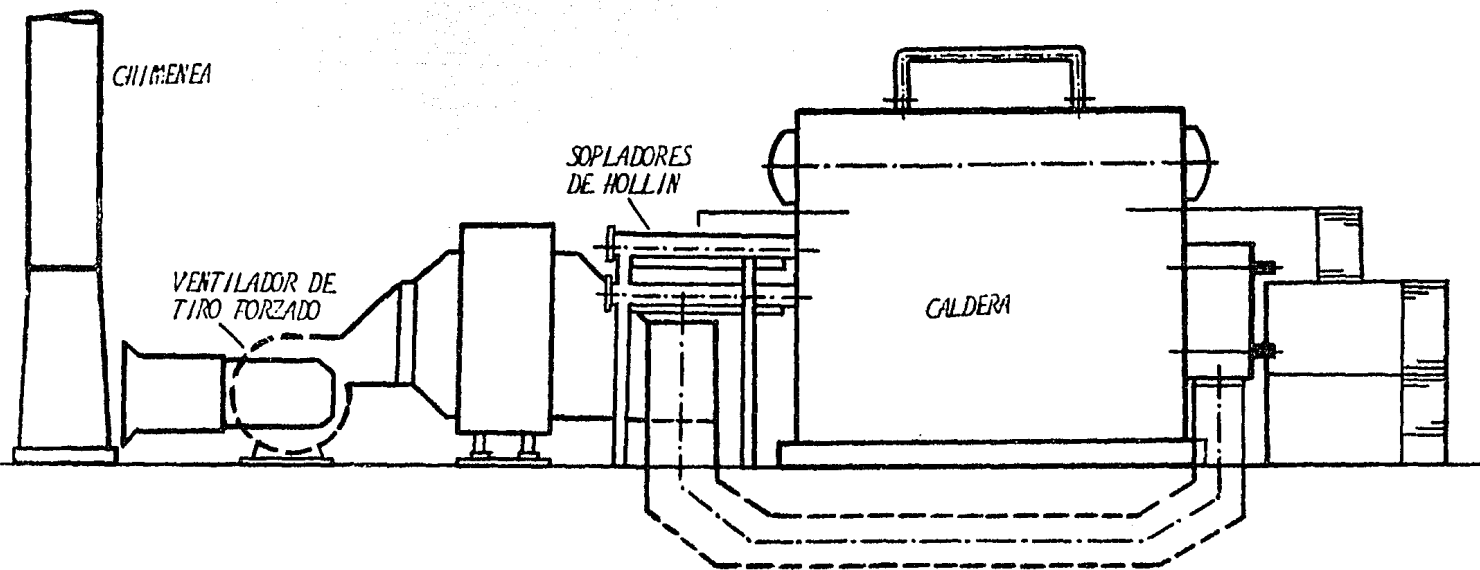


FIGURA NO. 5.- GENERADOR DE VAPOR VISTA DE ELEVACION .

saturado que se extrae de la turbina, calentando el aire frío que va hacia la caldera. Su principal objetivo es evitar que los gases de combustión lleguen al punto de rocío después de pasar por el precalentador de aire tipo regenerativo o recuperativo.

b) Precalentador de aire tipo recuperativo.- también llamado tubular, está constituido por tubos en posición vertical, en donde los gases circulan por dentro de los mismos, los cuales no van colocados en línea para mejorar la transferencia de calor. También es preferible que el flujo sea a contracorriente entre el aire y los gases (Figura No. 6).

c) Precalentador de aire tipo regenerativo.- también llamado Ljungström o rotatorio, consiste de un cilindro rotatorio soportado en los extremos de la flecha del rotor, cuya estructura está provista de canastas segmentadas que contienen la superficie de transferencia de calor en forma de miles de laminillas metálicas corrugadas. El cilindro gira a una velocidad de 2 a 4 rpm. y está montado sobre un bastidor de forma cuadrangular dividido en dos secciones, una para el flujo de aire y la otra para el flujo de gases de combustión (Figura No. 7). El calor de los gases de combustión es absorbido uniformemente por las laminillas y transferido al aire frío que entra a contracorriente.

Se puede usar en posición horizontal o vertical, dependiendo de las limitaciones de espacio que se tengan.

Algunas de las ventajas de este tipo de precalentador de aire con respecto al tipo recuperativo son:

- La eficiencia de la caldera es mayor en un 3 ó 4 %.
- Para una misma eficiencia, el tipo recuperativo aumenta mucho de precio, ya que se incrementa la longitud de los tubos y su volumen por consiguiente es muy grande (Figura No. 8).
- Mayor facilidad de operación y menores costos de mantenimiento.

Atemperador o Desobrecalentador.- es un aparato utilizado para reducir la temperatura y la cantidad de calor de cualquier vapor sobrecalentado o fluido que pase a través de él. La selección de un atemperador para una instalación determinada se dirige por el agua disponible para su empleo como medio de regulación de la temperatura. El atemperador puede ser del tipo de contacto superficial (conocido también -

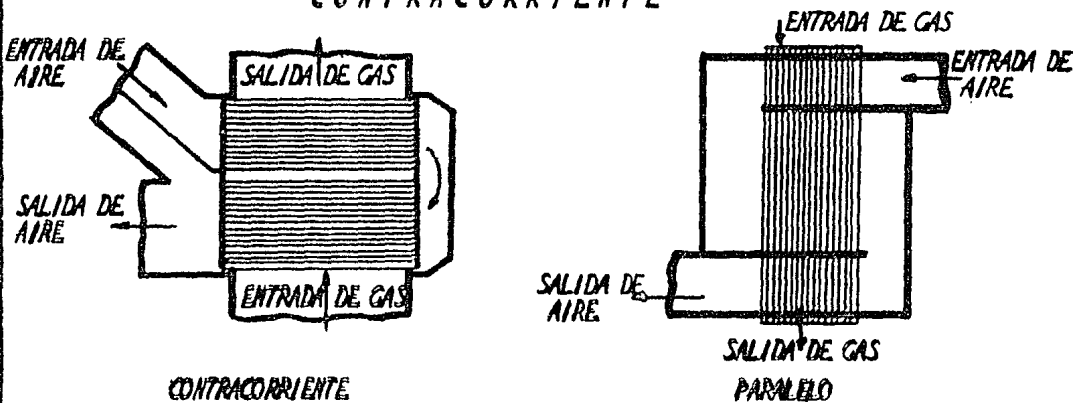
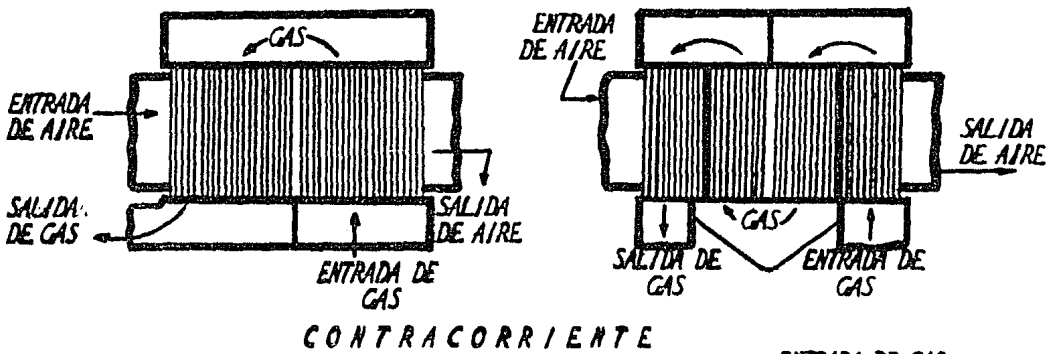
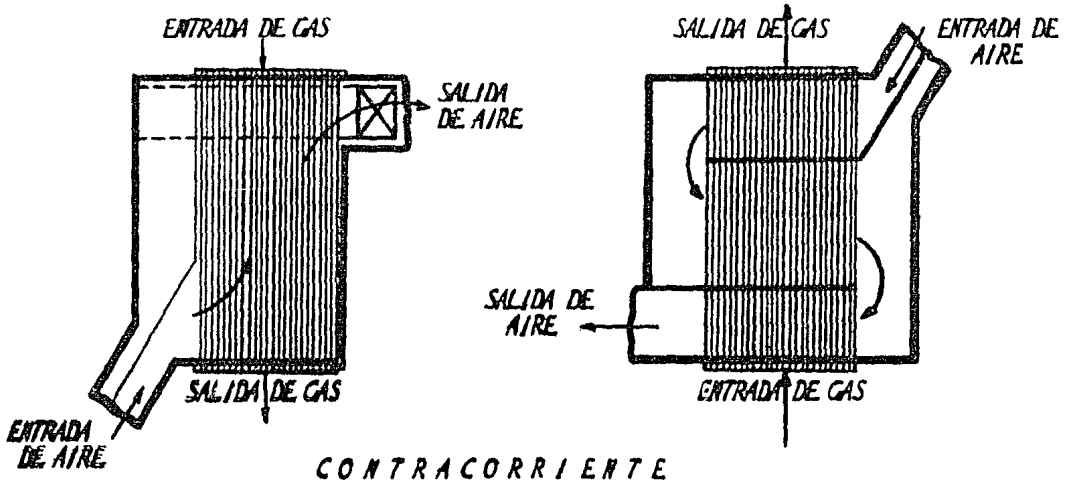
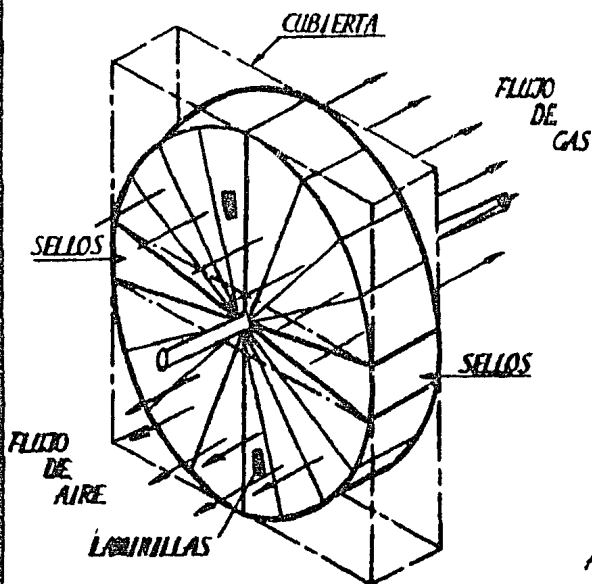
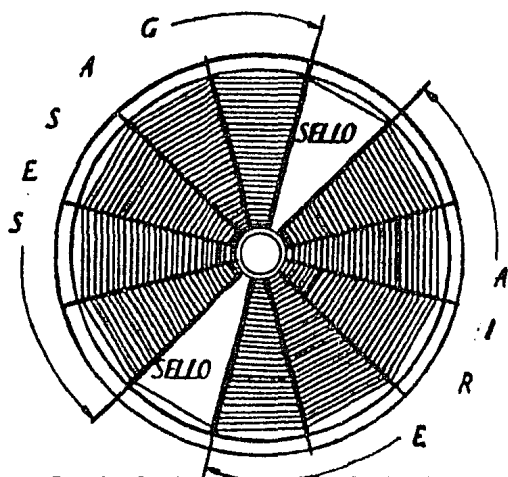


FIGURA No. 6.- DISPOSICION DEL PRECALENTADOR DE AIRE TIPO RECUPERATIVO .



(a)



(b)

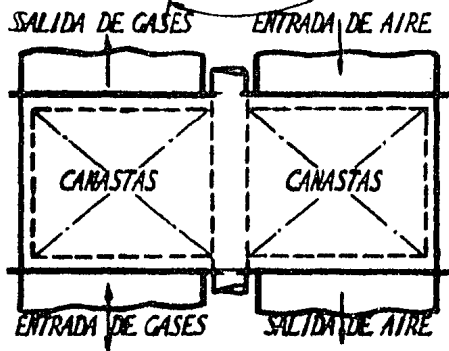
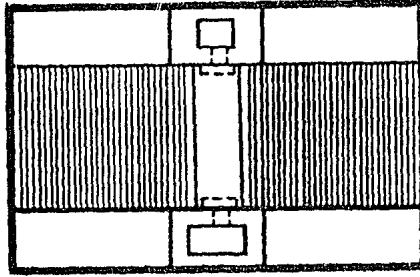
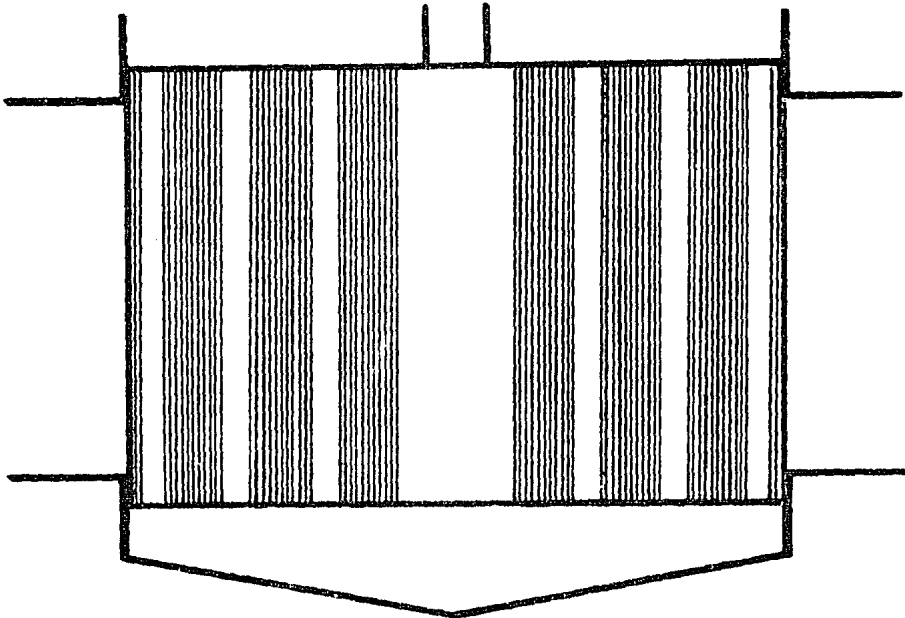


FIGURA No.- 7.- PRECALENTADOR DE AIRE TIPO REGENERATIVO .





PRECALENTADOR DE AIRE REGENERATIVO



PRECALENTADOR DE AIRE RECUPERATIVO

FIG. No. 8 - COMPARACION DE TAMAOS DE PRECALENTADORES DE AIRE .

como de intercambiador de calor, o de no contacto), y del tipo de contacto directo (o de atomización). El de éste último tipo, esprea agua directamente al vapor; el agua es evaporada por el vapor y la temperatura de la mezcla disminuye (Figura No. 9). El atemperador se localiza a la descarga del cabezal de salida del sobrecalentador o en algún paso intermedio de éste.

**Tubos Pantalla o Paredes de Agua.** - son las primeras hileras de tubos en la zona de convección; reciben calor de radiación proveniente del refractario del hogar, y también reciben calor de radiación y convección de los gases de combustión que pasan a través de ellos (Figura No. 2).

Los tubos están conectados en su parte inferior con el domo de agua y en su parte superior con el domo de vapor, son tubos espaciados perpendicularmente con respecto al flujo de los gases de combustión, para prevenir el taponamiento debido al hollín que contienen los gases y así facilitar la limpieza de estos. La circulación de agua a través de los tubos pantalla es en forma ascendente.

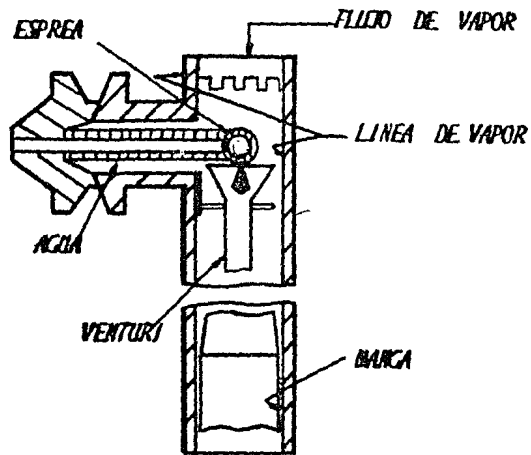
**Banco Generador.** - es un haz de tubos vertical soportado en su parte superior por el domo de vapor y en su parte inferior por el domo de agua (Figuras No. 1 y 10).

Los tubos van reducidos de diámetro en sus extremos y éstos se unen a los domos (Figura No. 11). Este diseño aumenta la capacidad de la caldera, ya que se puede colocar mayor número de tubos en el espacio disponible en los domos.

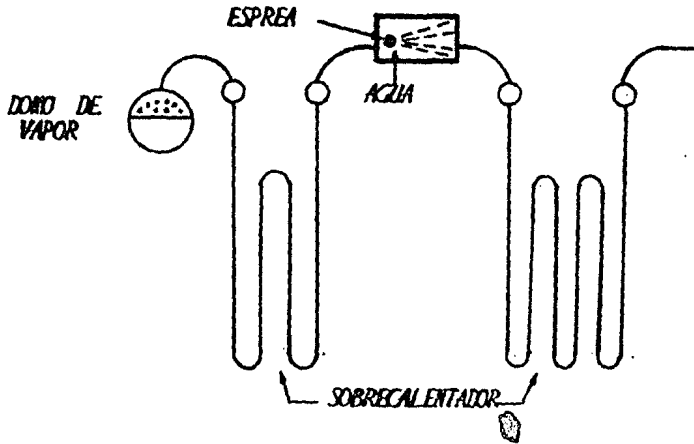
Tanto el hogar como el banco generador, tienen la característica de estar integrados por tubos en los que circula una mezcla de líquido y vapor o exclusivamente líquido, por lo que en estas dos secciones de la caldera se genera únicamente vapor saturado, el que se alimenta al domo superior.

El diseño de la superficie del banco generador depende del tipo de unidad seleccionada y de la caída de presión y temperatura aceptable de los gases. El objetivo en el diseño del banco generador es establecer la combinación del diámetro, espaciamiento, longitud y número de tubos, ancho y profundidad del banco generador - manjarras para el gas que darán la caída de temperatura y presión permisible de los gases; la superficie de calentamiento y la caída de presión están directamente relacionados con la masa - velocidad de los gases de combustión.

**Domos.** - los tubos del banco generador y de las paredes de agua están soportados por los domos en los cuales se interconectan. En el domo superior se separa el va



(a).- CORTE ESQUEMATICO



(b).- LOCALIZACION

FIGURA No. 9.- ATEMPERADOR O DESOBRECALENTADOR .

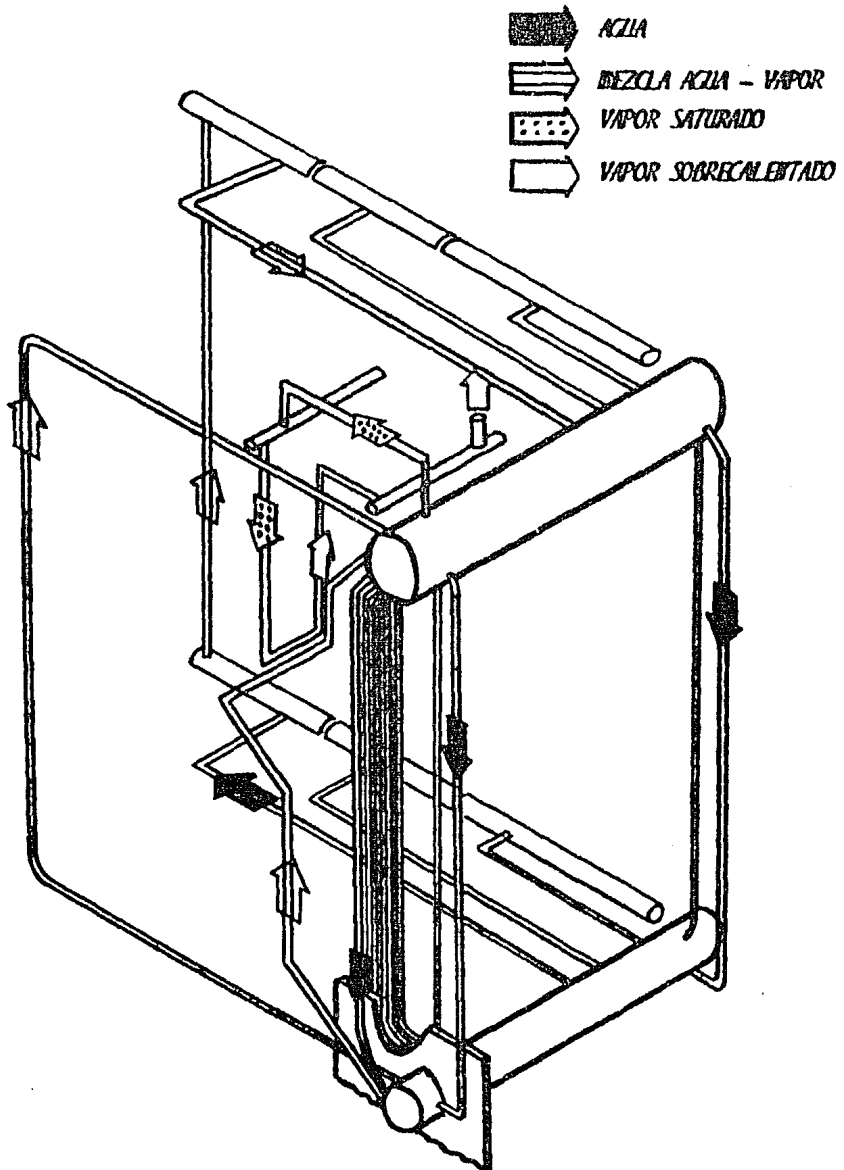


FIGURA NO. 10.- DIAGRAMA DE CIRCULACION EN LA CALDERA .

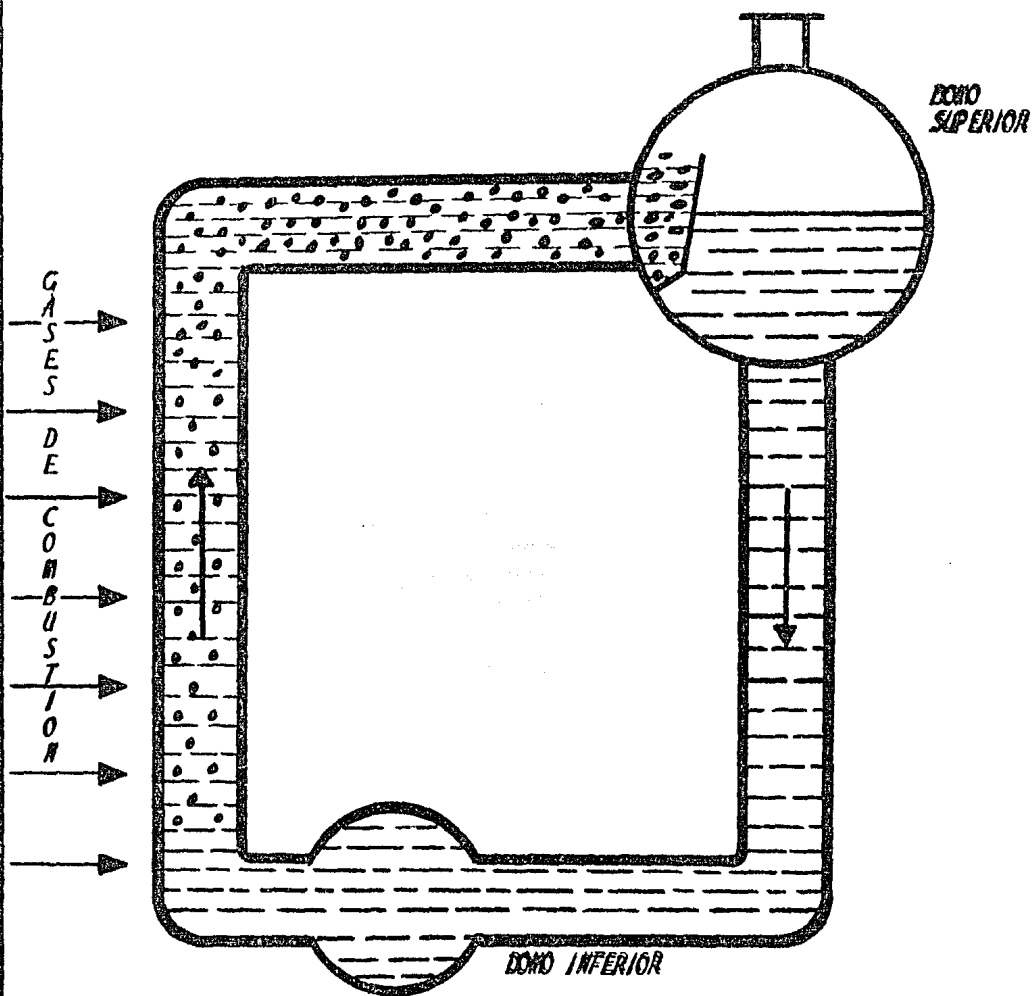
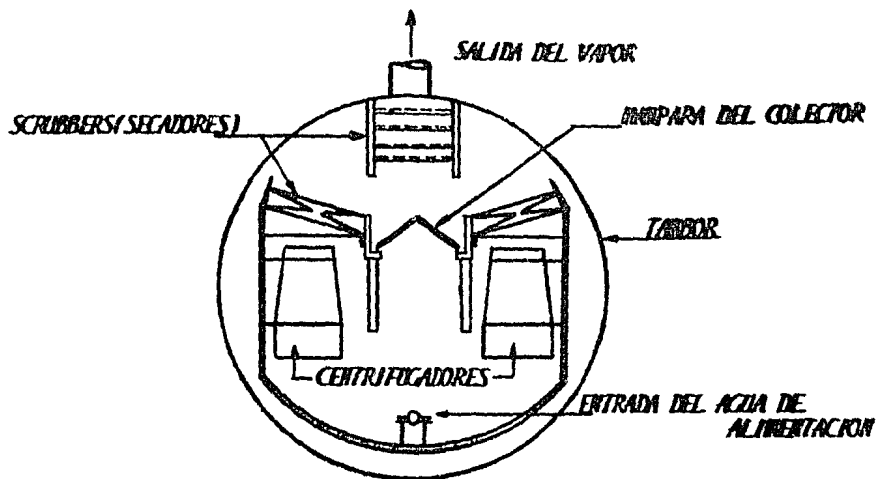
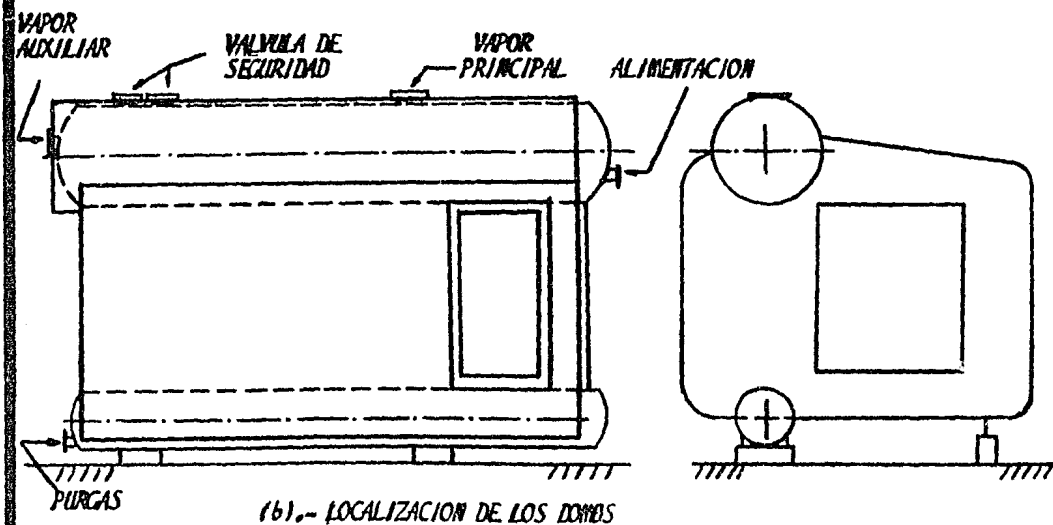


FIGURA No.11.- BANCO GENERADOR



(a).- COMPONENTES INTERIORS DEL DOMO SUPERIOR



(b).- LOCALIZACION DE LOS DOMOS

FIGURA NO. 12.- DOMO SUPERIOR Y DOMO INFERIOR .

por saturado de la mezcla agua vapor que descargan los tubos del hogar y del banco generador por medio de separadores (Figura No. 12). El remanente de agua se recircula junto con el agua de alimentación, debe ser lo suficientemente largo para corregir los cambios en el nivel de agua que ocurren debido a cambios en la alimentación. También sirve como recipiente para la alimentación de sustancias químicas para tratamiento interno. El domo inferior funciona como tanque de lodos y purgas (Figuras No. 3, 5, 10 y 12).

Quemadores.- son los dispositivos en donde se lleva a cabo la combustión (Figura No. 13). La combustión es el conjunto de combinaciones químicas que se producen a ciertas condiciones liberándose calor. Para que se produzca la combustión, necesariamente deben estar presentes el combustible y el comburente, pero éstos por sí solos no producen combustión, ya que no es un proceso espontáneo, por lo que se hace necesario un punto caliente, es decir, para que la combustión tenga lugar se requiere una temperatura elevada, ya que la combustión sólo ocurre a altas temperaturas. Si la liberación de calor, producida por la combustión es suficiente para mantener la temperatura necesaria, la combustión podrá mantenerse y el fuego será estable.

Los combustibles utilizados pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos, y el comburente utilizado es el aire de la atmósfera.

Equipo auxiliar empleado :

Sopladores de Hollín.- son empleados para hacer limpieza a las superficies exteriores de los tubos que están en contacto con los gases de la combustión (Figura No. 5)

Los sopladores de hollín se clasifican en : mecánicos y automáticos.

Los sopladores mecánicos están instalados en las calderas permanentemente y situados de manera que todas las superficies de calefacción sometidas a acumulación de hollín puedan limpiarse con chorros de vapor, aire o una mezcla de aire y vapor. Están contruidos para girar en un sentido estirando una cardena, los chorros barren el arco de soplado una vez cada revolución.

Los sopladores automáticos funcionan de acuerdo con la trayectoria de los productos de la combustión, con el fin de arrastrar las cenizas volátiles del hogar.

Para el control automático y como medio de soplado se emplea el aire comprimido.

Las altas temperaturas reinantes en determinadas zonas exigen que los tubos sopladores de hollín sean retirados del hogar, cuando no se utilizan.

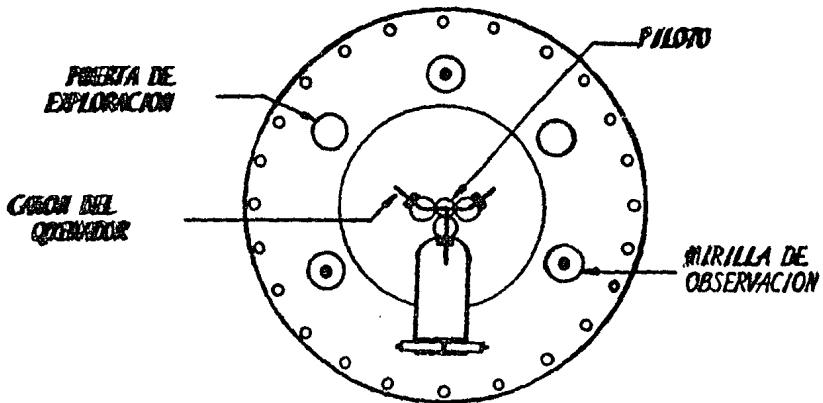
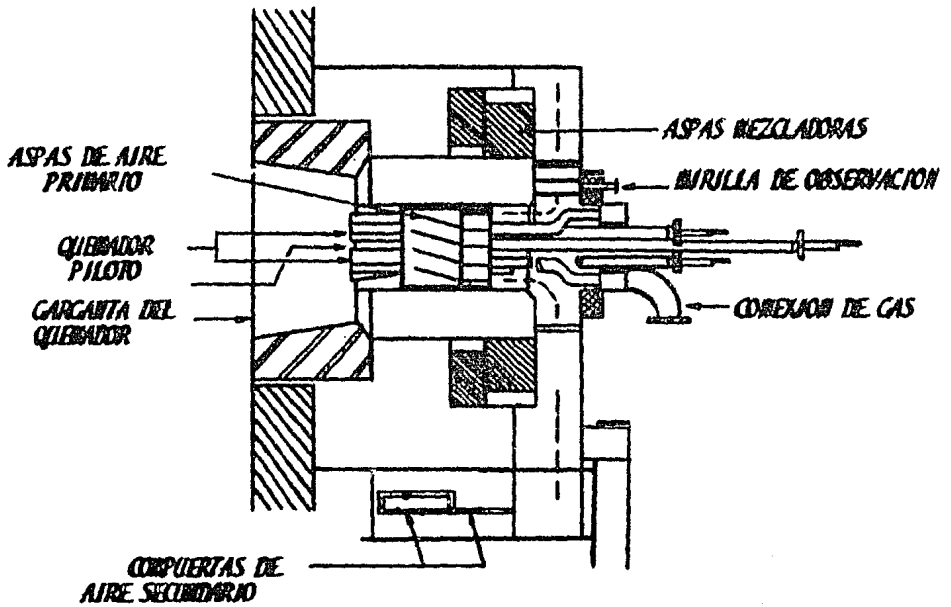


FIGURA NO. 13 - CORTE DE UN QUEBADOR .



Cuando una caldera opera sin la debida limpieza en el exterior de los tubos, su eficiencia baja por lo que la transmisión de calor es más deficiente, debido a la película de suciedad en los tubos .

Ventiladores .- estos equipos mecánicos se emplean para mover el aire para la combustión (tiro forzado), o bien, para extraer los gases de combustión (tiro inducido) . El ventilador empleado deberá suministrar la presión estática necesaria para vencer la resistencia al flujo de aire o gas a través de la caldera (Figura 14a) .

Los accionadores que generalmente se usan para los ventiladores son : motores eléctricos, turbinas de gas o de vapor, o motores diesel .

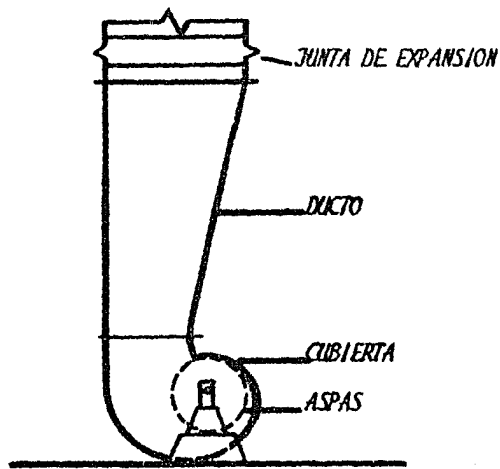
Chimenea .- se emplea para satisfacer las necesidades de tiro natural requerido para descargar los gases de combustión a la atmósfera y también para cumplir con los requerimientos de higiene ambiental mediante la reducción de los compuestos contaminantes que acompañan a los gases de combustión (Figura No. 5) .

Deberá llevar en su interior un recubrimiento de refractario y por el exterior una capa de aislante para protección de los operadores .

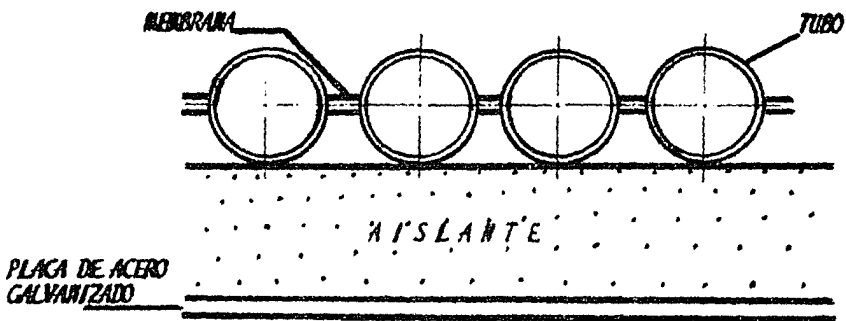
Acabado .- de la caldera, consiste en colocar como aislante una colcha de lana mineral de aproximadamente 4 pulgadas de espesor, e inmediatamente después de los tubos de las paredes . A continuación se coloca una placa de acero galvanizado (Figura No. 14b) . El objetivo de éste acabado es el de dar protección a los operadores de las calderas, contra altas temperaturas en las superficies externas de ésta .

Válvulas de Seguridad .- son empleadas para impedir que en las calderas se desarrollen presiones de vapor excesivas, que pudieran causar algún daño . Estas válvulas abren automáticamente al presentarse una sobrepresión determinada dejando escapar el vapor hacia la atmósfera y cierran una vez que la presión alcanza su límite normal .

Además del equipo auxiliar mostrado anteriormente , existen los equipos de medición como son: indicadores de nivel del agua, reguladores de agua de alimentación, termómetros, manómetros, indicadores de tiro, equipo de protección como son válvulas de seguridad ya mencionadas, válvulas de alivio, tapones fusibles, purgadores, etc . Aquí sólo he mencionado las partes que considero son las más importantes para el buen funcionamiento de los generadores de vapor .



(a).- PARTES DEL VENTILADOR



(b).- CONSTRUCCION DEL ACABADO

FIGURA No. 14 .- (a) VENTILADOR (b) ACABADO DE LA CALDERA

### Clasificación .

Los generadores de vapor se clasifican de la manera siguiente :

A) Por la posición relativa de los gases calientes, el agua y el vapor .

A.1) Calderas de tubos de humo o piro-tubulares .- son aquellas en donde los gases calientes circulan por el interior de los tubos y el agua por el exterior .

A.2) Calderas de tubos de agua o acuntubulares .- son aquellas en donde el agua - circula por el interior de los tubos y los gases calientes por el exterior .

B) Por la posición de los tubos .

B.1) Calderas de tubos horizontales .

B.2) Calderas de tubos verticales .

B.3) Caldera de tubos inclinados .

Estas calderas pueden ser de 1,2,3 ó 4 pasos, entendiéndose por paso cada vez que los gases de combustión cambien de dirección .

C) Por la forma de los tubos .

C.1) Calderas de tubos rectos .- se caracterizan por los tubos externos soportados por cabezales transversales al domo de lodos .

C.2) Calderas de tubos curvos .- están soportados por el domo de vapor en la parte superior y el domo de lodos en la parte inferior .

D) Por el tipo de ventilación .

D.1) Calderas con tiro natural .- cuando los gases de combustión se extraen del generador mediante una chimenea de altura y diámetro calculado, para que por diferencia de presión entre la atmósfera y el interior del generador, por convección se forme una corriente de aire a través de la cámara de combustión que se controla por compuertas a la entrada del aire o salida de gases a efecto de ajustar la relación aire - combustible .

D.2) Calderas con tiro forzado .- los gases producto de la combustión son desalojados por medios mecánicos, como un ventilador colocado en la entrada del aire de la combustión que introduce aire a presión forzando la salida de los gases .

D.3) Calderas con tiro inducido .- los gases son desalojados por un extractor colocado en la entrada de la chimenea o en la caja de humo, dicho ventilador imprime velocidad a los gases de salida, induciéndose así el tiro .

D.4) Calderas de tiro balanceado .- es una combinación con ventiladores de tiro - forzado y de tiro inducido .

E) Por la naturaleza del servicio que prestan .

E.1) Calderas estacionarias .- las que se instalan en un determinado lugar .

E.2) Calderas temporales .- similares a las anteriores pero con la excepción de - que permanecen fijos por temporadas .

E.3) Calderas locomóviles .- son aquellas que se usan para proporcionar fuerza motriz de desplazamiento, como en las locomotoras y barcos de vapor .

E.4) Calderas portátiles .- son aquellas que se hallan instaladas en plataformas - rodantes y se usan para venta de vapor, cuando se requiere reparar equipos estacionarios o por incremento temporal de la demanda .

F) Por la posición del horno .

F.1) Calderas de horno interno .

F.2) Calderas de horno externo .

G) Por el tipo de circulación de agua .

G.1) Calderas de circulación natural .- es aquella en la cual la circulación del - agua queda establecida por la gravedad .

G.2) Calderas de circulación controlada o forzada .- es aquella en la cual hay que emplear medios motrices (bombas), para provocar la circulación del agua .

H) Por las fuentes de energía .

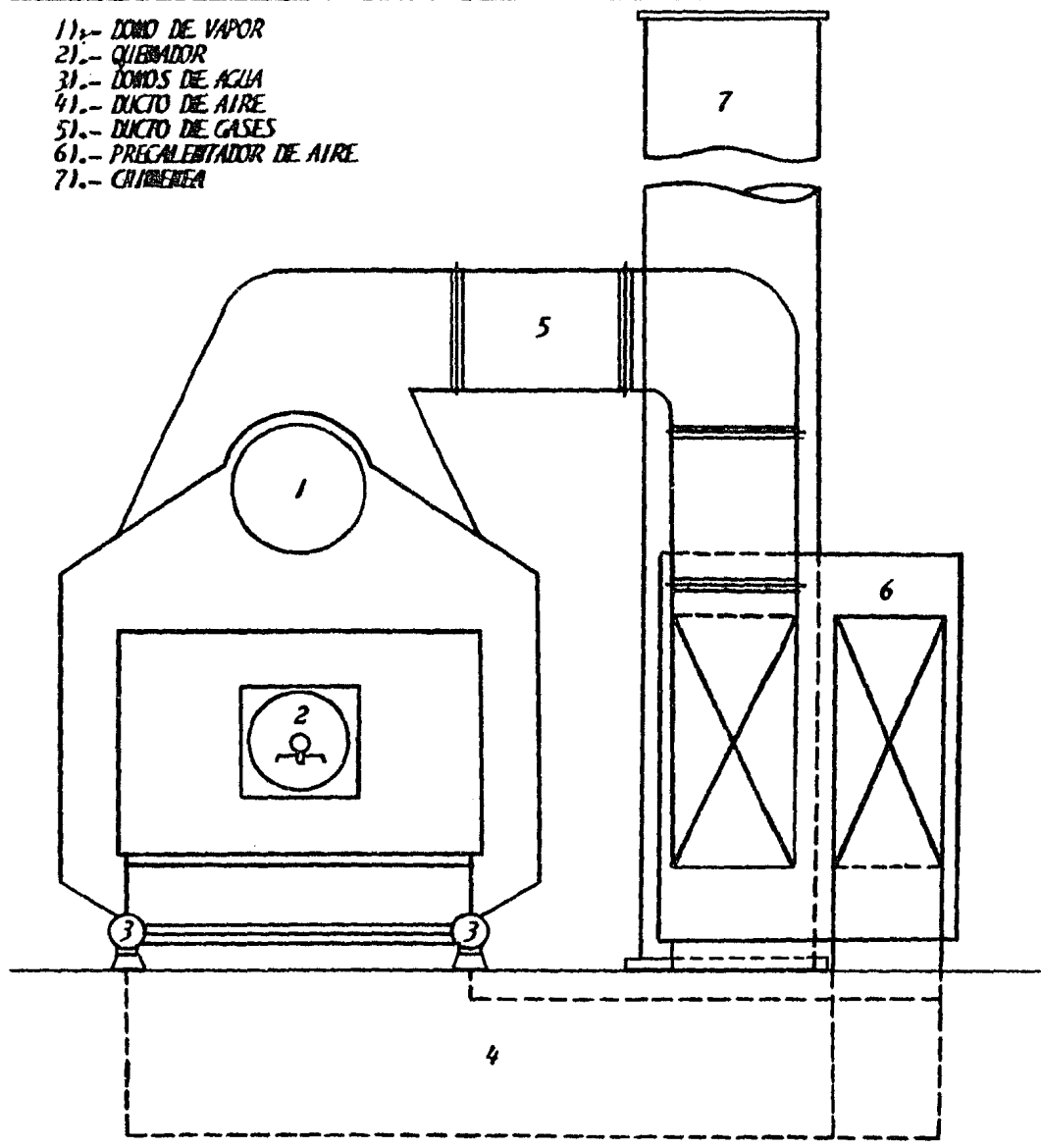
H.1) Calderas por combustión .

H.2) Calderas por gases calientes de desperdicio .

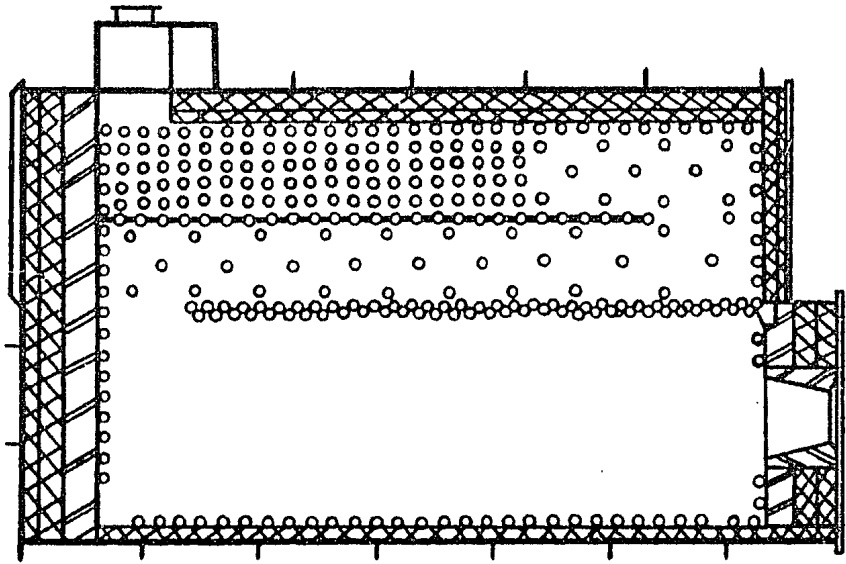
H.3) Calderas por energía nuclear .

A continuación se muestran los dibujos de algunos tipos de calderas .

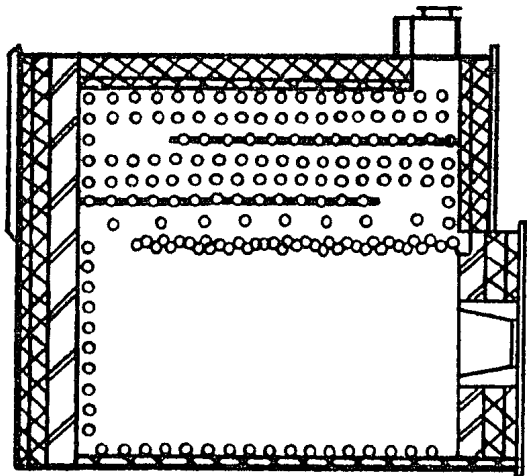
- 1).- DOMO DE VAPOR
- 2).- QUEBADOR
- 3).- DOMOS DE AGUA
- 4).- DUCTO DE AIRE
- 5).- DUCTO DE GASES
- 6).- PRECALENTADOR DE AIRE
- 7).- CHIMBEEA




CALDERA TIPO A ELEVACION FRONTAL

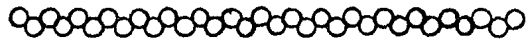


*CALDERA DE DOS PASOS*



*CALDERA DE TRES PASOS*

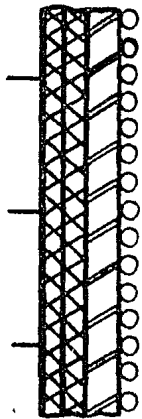
  
**MAMPARAS EN LAS CALDERAS DE DOS Y TRES PASOS**



**MAMPARA DE GASES DEL HOGAR**



**COSTADO Y TECHO DEL HOGAR**



**PARED OPUESTA AL QUEMADOR**



**PARED DEL QUEMADOR**

**CONSTRUCCION DE LAS PAREDES DE AGUA .**

#### 1.4) Medidas de la Capacidad de los Generadores de Vapor.

Capacidad de un Generador de Vapor .- es la cantidad de vapor que puede producir por unidad de tiempo.

$$Q = m_v (h_2 - h_1)$$

donde :  $Q$  -- Es el calor absorbido por el agua o vapor .  $\frac{KJ}{Hn}$ ,  $\frac{KCal}{Hn}$

$m_v$  -- Es el flujo de vapor .  $\frac{Kg}{Hn}$

$h_2$  -- Es la entalpía del vapor .  $\frac{KJ}{Kg}$ ,  $\frac{KCal}{Kg}$

$h_1$  -- Es la entalpía del agua .  $\frac{KJ}{Kg}$ ,  $\frac{KCal}{Kg}$

Potencia o Capacidad Nominal .- la capacidad de las calderas se determina en caballos caldera (BHP) Boiler Horse Power, y se define como la cantidad de energía necesaria para evaporar 15.65 Kg/Hn de agua a 100°C y a una presión de una atmósfera (1.033 Kg/cm<sup>2</sup>).

$$1 \text{ BHP} = 35\,320 \frac{KJ}{Kg} = 8440 \frac{KCal}{Kg} = (10.93 \text{ m}^2) \text{ ó } 10 \text{ pies}^2 \text{ sup. de calefacción.}$$

$$P.N. = \frac{\text{Superficie de Calefacción (m}^2\text{)}}{0.93 \text{ (m}^2\text{/BHP)}} = \frac{S.C.}{0.93} \text{ (BHP)}$$

Factor de Sobrecarga .- es la relación entre el calor absorbido y la potencia nominal.

$$F.S. = \frac{Q_{abs.} \text{ (BHP)}}{P.N. \text{ (BHP)}}$$

Capacidad Real .- esta dada por la siguiente ecuación :

$$C_{real} = P.N. \times F.S.$$

Equivalente de Vaporización .- se define como los kilogramos de agua/hora que se vaporizarían a 100°C y una atmósfera de presión, si se hubiera absorbido la misma cantidad de energía que en las condiciones observadas en el generador.

$$E.V. = \frac{m_v (h_2 - h_1)}{h_{fg} / 100^\circ C} = \frac{Q_{abs.}}{h_{fg} / 100^\circ C} \quad \frac{Kg}{Hn}$$



donde :

$$h_{fp} / 100^{\circ}\text{C} = 2257 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 540 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}$$

Factor de Vaporización .- es la relación entre el equivalente de vaporización y el flujo de vapor .

$$F.V. = \frac{h_2 - h_1}{h_{fp} / 100^{\circ}\text{C}} = \frac{E.V.}{m_v}$$

Eficiencia de la Caldera .- se define como la relación del calor absorbido por el fluido de trabajo (agua y vapor), entre el calor suministrado por la combustión del combustible dentro del hogar del generador .

$$= \frac{Q_{\text{absorbido}}}{Q_{\text{suministrado}}}$$

donde :

$$Q_{\text{absorbido}} = m_v (h_2 - h_1)$$

$$m_v \text{ -- Es el flujo de vapor . } \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$h_2 \text{ -- Es la entalpia del vapor a la salida . } \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} , \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}$$

$$h_1 \text{ -- Es la entalpia del agua a la entrada . } \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} , \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{suministrado}} = m_c (P.C.S.)$$

$$m_c \text{ -- Es el flujo de combustible . } \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

(P.C.S.) -- Es el poder calorífico superior del combustible .

$$\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} , \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}$$

*CAPITULO NO. 2*

**ARRANQUE Y PUESTA EN SERVICIO  
DE LOS GENERADORES DE VAPOR .**

## C A P Í T U L O 2

### ARRANQUE Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS GENERADORES DE VAPORES .

#### 2.1) Generalidades

El arranque y la puesta en servicio de los generadores de vapor es una de las etapas más importantes en la culminación exitosa del proyecto de diseño y funcionamiento ya que constituye la prueba y verificación final de que se realizó una buena Ingeniería y una construcción correcta y satisfactoria al trabajar los sistemas y conjuntos de equipos en operación dinámica, coadyuvada en la etapa de terminación final por una buena programación de actividades en secuencia, adecuada a las necesidades de las pruebas y puesta en servicio, optimizando el tiempo y costo y asegurando el cumplimiento de los programas .

Las pruebas y puesta en servicio son de una gran importancia para la vida en operación de los sistemas y equipos, ya que una adecuada definición de funciones y parámetros de aceptación y operación redundará en beneficios para la empresa — que utilice dichos equipos, al traducirse en puestas en servicio exitosas, sin accidentes de trabajo para el personal y para los equipos, sin daños ni deficiencias de operación y puesta en servicio y con una operación inicial satisfactoria que se reflejará en mayor vida de los equipos .

Es importante señalar todas las pruebas previas al arranque que se deben llevar a cabo y las cuales en su mayoría han sido formuladas de acuerdo con la ASME Boiler Code (Código de Calderas ASME), y generalmente basadas en el National Board Inspection Code (Código de Inspección del Consejo Nacional) que incluyen una ley modelo. Dichas pruebas son llevadas a cabo ante personas denominadas inspectores, los cuales tienen una amplia experiencia en el diseño, construcción u operación de generadores de vapor y los cuales son nombrados por las compañías de seguros que asumen los riesgos del equipo en cuestión o por alguna autoridad competente . Entre las pruebas que se deben realizar a los equipos de generación de vapor se hayan las siguientes :

#### 2.2) Prueba de Hermeticidad

El propósito de la prueba de hermeticidad es la de detectar fugas y demostrar la integridad de las uniones soldadas del horno, del generador de vapor, ductos, canchaca y sellos . La prueba de hermeticidad se deberá efectuar cuando esté con—

cluida la instalación de todos los ductos y antes de colocar la capa de aislamiento y deberán de seguirse los siguientes pasos :

a) Asegurarse de que todo el trabajo de instalación y soldadura esté concluido; - todos los soportes y refuerzos interiores a los ductos debidamente colocados y - soldados; todas las puertas de inspección y entradas de hombre correctamente colocadas; toda la tubería de aire de sellos y aspiración de instrumentos con sus válvulas debidamente selladas; todos los soportes o guías interiores debidamente soldados y todas las placas de aislamiento para separar por secciones debidamente - colocarlas .

b) Se procederá a inyectar aire, sección por sección, verificando que no se exceda la presión de prueba y vigilando que los ductos no se abomben o se deformen .

c) Se procederá a identificar fugas mediante el sonido de las mismas o jabonadura y deberán ser claramente marcados con el fin de repararlos .

d) Se procederá a repetir la prueba hasta que la caída de presión no exceda de - 50 mm de agua en 10 minutos .

## 2.3) P r u e b a H i d r o s t á t i c a

La prueba hidrostática se debe efectuar a un 50 % sobre la presión normal de diseño, después de que se han montado las partes sujetas a presión . Esto debe hacerse antes de aplicar el material refractario para poder apreciar las fugas y corregirlas .

Después de que la unidad ha sido revisada por el inspector autorizado, encontrándola en condiciones de operación, se procede a instalar el material refractario cerrando el horno y colocando las cubiertas, estas deben ser hermeticas al aire y en el caso de hornos a presión, se deben hacer pruebas de aire usando los ventiladores de tiro forzado únicamente y jabonadura para poder detectar las fugas de aire . Después de que la caldera se ha llenado para la prueba hidrostática se deben tomar precauciones contra congelamiento, drenándose la caldera o manteniéndola a buena temperatura por medio de calentadores .

La prueba hidrostática (a base de agua a presión), tiene por objeto la comprobación de la hermeticidad, así como el de averiguar la resistencia mínima de la unidad, se realiza inmediatamente después de haberse concluido la fabricación e - instalación de la caldera . Para esta prueba se utiliza agua a temperatura ambien

ie, pero en ningún caso ésta deberá ser menor de  $21^{\circ}\text{C}$  ( $70^{\circ}\text{F}$ ).

Es importante realizar una inspección interna y externa de la unidad antes de llevar a cabo la prueba hidrostática, para asegurarse de que :

- a) No han quedado materiales ni herramientas dentro de la misma .
- b) No hay nadie dentro de la misma .
- c) Los manómetros estén calibrados y conectados correctamente con las válvulas - abiertas .
- d) Todas las válvulas de seguridad estén bloqueadas o aseguradas .
- e) Todas las partes no diseñadas para resistir la prueba hidrostática estén bloqueadas o aisladas .
- f) Todas las válvulas operen libremente y sellen correctamente .

Cuando se ha comprobado todo lo anterior :

- A) Cerrar todos los registros de hombre en domo y también de todos y asegurarse - de que las tontugas de los cabezales estén cerradas .
- B) Cerrar válvulas de bloqueo y de check, las de drene y purga continua y las válvulas a indicadores y equipo no diseñado para soportar la prueba hidrostática .
- C) Abrir los venters en la parte más alta del domo de la unidad .
- D) Asegurarse de que el agua no se congele durante la prueba y de que las partes no drenables no queden sujetas a congelación después de la misma .
- E) Observar el llenado correcto de la unidad, evitando así tener aire entrampado.
- F) Nunca debe realizarse la prueba hidrostática en una unidad caliente .
- G) Solamente el personal autorizado debe encontrarse en la unidad en prueba .

La prueba hidrostática se realiza en dos etapas :

- 1) La prueba de presión hidrostática, debe efectuarse por medio de la elevación - gradual de la presión a 1.5 veces la máxima presión de trabajo permisible que - estará estampada o marcada en la caldera . La presión debe mantenerse bajo control adecuado en todo momento, de la presión de prueba nunca se exceda en más de un 6 % .
- 2) La presión de prueba hidrostática se puede reducir una vez efectuado lo anterior, a la máxima presión permisible de trabajo que está estampada en la caldera y mantenerla en esta condición, mientras la caldera se examina detenidamente.

## 2.4) Llenado de la Caldera

Se inicia el llenado de la unidad con agua de preferencia agua desmineralizada tratada y si no se tiene, llenar con agua cruda limpia y filtrada. Se puede llenar a través de los cabezales de entrada de las paredes.

Se deben inspeccionar drenajes, registros y tortugas, para detectar fugas conforme se llena la unidad; cuando el agua salga por los venteos superiores, cerrar los; después se eleva lentamente la presión hasta alcanzar la deseada.

Inspeccionar la unidad y cuando la prueba hidrostática ha sido satisfactoria, bajar la presión lentamente y abrir todos los venteos y drenes; las partes que durante la operación no deban contener agua, deben ser drenados.

Si durante la prueba hidrostática inicial se usan juntas provisionales en los registros y tortugas, se deben cambiar por las apropiadas antes de volver a llenar la unidad para su operación.

Quitar las mordazas o bloqueos de las válvulas de seguridad; siempre que sea posible, se deberá usar agua tratada con productos químicos adecuados al llevar a cabo una prueba hidrostática, para eliminar la posibilidad de corrosión en las partes no drenables de la unidad; usualmente se usa amoníaco (como hidróxido de amonio) e hidrazina.

La prueba hidrostática no es prueba de fatiga del material y por lo tanto es independiente del tiempo, sin embargo a criterio del montador o Ingeniero, el tiempo podrá fijarse con meros fines de satisfacción del trabajo, entre 10 minutos y 8 horas según sea cada caso; es obvio sin embargo, que una falla que no aparezca en el lapso de los próximos minutos de haberse logrado la presión de prueba no aparecerá en las próximas 8, 72, 100 o más horas subsecuentes.

## 2.5) Secado del Refractorio

En un generador de vapor existe una gran cantidad de material de mampostería - en forma de lozas de ladrillo refractorio, mamparas, refractorio maleable y monte no refractorio de alta temperatura. Cuando se erige inicialmente, esta mezcla es húmeda y tiene dimensiones ligeramente mayores que cuando está seca; en todos los casos, un generador recién instalado tiene refractorio "verde" que debe ser adecuadamente "madurado" antes de sujetarlo a altas temperaturas. Con un prolongado período de "secado al aire", la humedad contenida en el refractorio se reducirá,

sin embargo, por la composición química del labrillo refractario y de los materiales maleables, la completa remoción de humedad se puede obtener por medio de la aplicación lenta de calor controlado, para esto es necesaria una cantidad mayor que la que puede obtenerse del medio ambiente, y ésta dependerá grandemente de la cantidad de refractario, tipo del mismo, porcentaje de materiales vacíos usados, cantidad de humedad contenida y el tiempo transcurrido desde el término de la construcción y el de la operación inicial. Mientras más largo sea el período de secado es mucho mejor. Si el fraguado se calienta demasiado rápido, la cubierta de este se secará primero, contrayéndose y provocando cuarteaduras; igualmente con un calentamiento rápido, el vapor formado por el refractario especialmente en las partes más gruesas, no podrá salir sin desarrollar presión.

Durante el período de secado, la eliminación de humedad está acompañada por una contracción del refractario; después de un calentamiento lento programado, se obtendrá una estructura sólida.

El secado de la unidad no debe iniciarse, hasta que se esté seguro que las indicaciones dadas anteriormente se hayan cumplido; la unidad debe llenarse a un nivel de operación, con agua limpia y filtrada que contenga cargas químicas apropiadas para el hervido alcalino, los cristales de los niveles ópticos deben protegerse convenientemente, sustituyéndolos por unos provisionales antes de llenar el proceso de secado. El control del fuego de secado debe hacerse cuidadosamente, en unidades que queman gas natural se pueden usar los quemadores principales, siempre y cuando estos puedan trabajar en condiciones estables de flama "a un muy bajo" consumo de gas; si no es posible lo anterior, se pueden fabricar en el campo quemadores de gas temporales para ser usados en lugar de los principales.

No se aconseja secar estructuras grandes empleando quemadores de aceite, puesto que el bajo rango de combustión requerido, puede causar depósitos de combustible en las partes más frías debido a una combustión incompleta, estos depósitos pueden causar incendios. Si se hace necesario emplear dichos quemadores de combustible líquido para el proceso de secado, se deberán emplear boquillas especiales en los quemadores principales y tomar todas las precauciones necesarias para obtener una combustión completa en el hogar.

En calderas alimentadas mecánicamente, se debe usar naulera ligera para el proceso de secado y el fuego debe iniciarse en el centro del piso del hogar, mante-

niéndose en el mismo para prevenir sobrecalentamientos en cualquiera de las partes refractarias. Después de iniciado el fuego, mantenga una flama ligera hasta que el material refractario esté completamente seco.

El rango de fuego debe ser suficiente para calentar el agua de la caldera a una temperatura tal, que salga una ligera cantidad de vapor por el venteo del domo de la caldera.

Durante el secado, las tortugas del domo deben estar cerradas y las purgas — del sobrecalentador y venteo completamente abiertas. En una unidad nueva el período de secado debe ser de 3 a 5 días dependiendo de su tamaño.

El nivel del agua en el domo se debe mantener correctamente todo el tiempo.

Si el período de secado no es combinado con el hervido alcalino de la unidad, la tortuga del domo puede abrirse y al hacer esto, debe salir vapor por el registro durante este intervalo. Las persianas del tiro se deben ajustar a una posición tal que se obtenga una temperatura uniforme a través de toda la caldera.

A la terminación del secado, la unidad puede ser vaciada lentamente para guardar una pequeña cantidad de calor en la mampostería; el material refractario seco no debe enfriarse en forma brusca, por lo que se deben mantener cerradas las puertas de inspección hasta que se tenga autorización para entrar.

Si es posible checar el refractario seco, como tabiques, mampostería, etc., — después del secado para localizar cuarteaduras o excesiva contracción. Todas las cuarteaduras detectadas deben ser rellenadas o punteadas con un cemento refractario de buen grado.

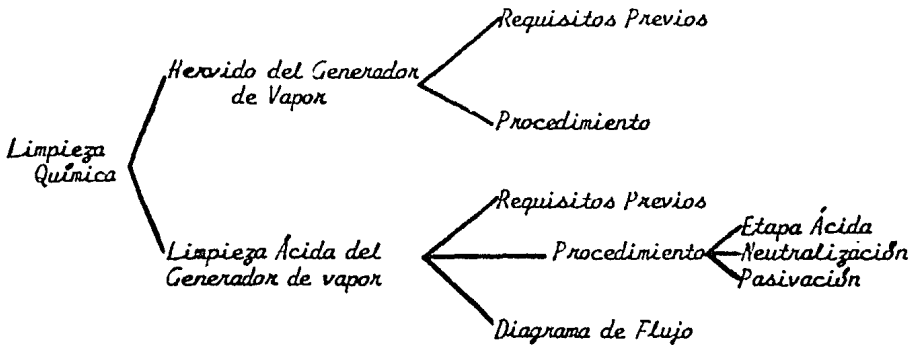
## 2.61 Limpiezas Químicas Preoperacionales

Es sumamente importante hacer la limpieza química del generador de vapor antes de ponerse en servicio la unidad, ya que la tubería de la caldera y las líneas del sistema, presentan una superficie interna muy contaminada por impurezas tales como: polvos, arenas, basuras, grasas, lacas protectoras y la cascarilla — de laminación o "Millscale", que es una clase de oxidación común hallada en la mayoría de los tipos de aceros empleados en la fabricación de los generadores de vapor. Aunque esta cascarilla de laminación parece uniforme en realidad no lo es, dicha capa varía en espesor, es porosa y en la mayoría de los casos, no es — continua. Por los coeficientes de dilatación del metal la cascarilla se "abolsa".



· y se fractura desprendiéndose y dejando una superficie irregular y áspera que es propicia para la formación de depósitos y corrosión localizada. Estos dos fenómenos dan origen a fallas posteriores, variación en la eficiencia de generación y en consecuencia altos costos por paros para reparación de las fallas.

Dividiremos la limpieza química de la manera siguiente :



#### 2.6.1) Requisitos Previos Para el Hervido

- a) Se requiere haber efectuado la prueba hidrostática.
- b) Tener disponibles los productos químicos necesarios.
- c) Tener disponible suficiente agua desmineralizada.
- d) Tener terminada la instalación provisional para dosificación y reposición de productos químicos.
- e) Tener disponible el condensador y las bombas de condensado para llenado y reposición al generador de vapor (caldera).
- f) Tener disponible ventilador de tiro forzado.
- g) Disponibilidad y operación remota de los sistemas de control de tiro forzado y control de alimentación de flujo de aire.
- h) Disponibilidad de los precalentadores de aire.
- i) Tener disponibles los drenajes de emergencia del domo.
- j) Instrumentación y control del agua de alimentación al generador de vapor, registros de temperatura, disparo de caldera por nivel, manómetros en domo (0 a 30 kg/cm<sup>2</sup>).
- k) Instalar indicador de nivel provisional en el domo.
- l) Disponibilidad de encendido de 4 quemadores.

m) Tener disponible el elevador y sistema de sonido .

### 2.6.2) Procedimiento Para el Hervido

A) Llenar el generador de vapor (caldera) con agua desmineralizada usando la bomba de condensado a través del economizador, dosificar simultáneamente con el equipo de dosificación provisional a través de las purgas de fondo del generador de vapor, una solución que contenga :

Fosfato trisódico	5000 ppm
Sosa cáustica	500 ppm
Hidrazina	200 ppm
Humectante	200 ppm

hasta llegar al nivel normal de operación de la caldera .

B) Encender 4 pilotos y 4 quemadores para empezar a levantar presión, abrir el venteo atmosférico del sobrecalentador, reponer agua para mantener el nivel normal de operación, levantar presión hasta alcanzar 15 a 17  $\text{kg}/\text{cm}^2$  y mantenerla durante 4 horas .

C) Apagar caldera y cerrar venteo atmosférico del sobrecalentador, dejar en reposo durante 2 horas y hacer extracción con la purga de fondo de la caldera hasta 1/4 del nivel del domo . Tomar muestra para análisis de sílice, fosfatos, aceites, ph, así como grado de alcalinidad .

D) Reponer nivel del domo con agua desmineralizada y a través de la bomba de condensado, reponer productos químicos si es necesario con el equipo de dosificación provisional .

E) Encender caldera, 4 quemadores, abrir venteo del sobrecalentador y levantar presión en la misma forma que en el punto B .

F) Repetir los pasos B,C y D las veces que sea necesario, hasta que los análisis sean satisfactorios, para lo cual la solución deberá ser clara, no se detectará aceite y la sílice máxima será de 2 ppm .

G) Cuando se dé por terminado el hervido de acuerdo a los análisis, dejar en servicio los tiros forzados para empezar a enfriar la caldera, cuidando la diferencial de temperatura permisible .

H) Drenar la solución cuando se tenga abajo de  $100^{\circ}\text{C}$  de temperatura en la caldera .

I) Llenar la caldera con agua desmineralizada tratada, hasta 3/4 del nivel del --

domo y drenar totalmente manteniendo abiertos los venteos del domo, tomar muestra, efectuar los enjuagues necesarios (2 ó 3), hasta tener alcalinidad a la F (fenolftaleína) de 10 y pH de 8 dependiendo del análisis del agua.

#### 2.6.3) Requisitos Previos Para la Limpieza Ácida

- a) Tener disponible sistema de nitrógeno.
- b) Tener suficiente agua desmineralizada.
- c) Tener los productos químicos necesarios.
- d) Tener aire de servicio disponible.
- e) Poder encender 4 pilotos y 2 quemadores.
- f) Tener probado el equipo provisional de limpieza.
- g) Verificar que concuerde con el diagrama de flujo establecido.
- h) Tener un nivel provisional de control del domo.

#### 2.6.4) Procedimiento Para la Limpieza Ácida

Esta limpieza consta de dos etapas: una etapa ácida y una etapa de neutralización y pasivación.

##### 2.6.4.1) Etapa Ácida

- A) Almacenar el sobrecalentador con una solución que contenga 200 ppm de hidrazina y 30 ppm de amoníaco.
- B) Llenar con agua desmineralizada el generador de vapor hasta el nivel normal de operación a través de la línea de llenado de caldera.
- C) Encender pilotos y dos o tres quemadores para alcanzar una temperatura de 70°C manteniendo en circulación el sistema a través del equipo provisional de limpieza.
- D) Preparar la solución ácida en el tanque de dilución de productos químicos del equipo provisional de limpieza.

Ácido clorhídrico 5 %

Bifluoruro de amonio 0.25 %

Inhibidor de corrosión para ácido clorhídrico 0.3 %

Estas concentraciones están en función del volumen total del generador de vapor.

E) Drenar del generador de vapor un volumen equivalente al volumen de la solución ácida, a través del drenaje del generador de vapor.

F) Introducir la solución ácida a través del generador de vapor, por medio de la bomba de recirculación del equipo provisional, hasta un nivel de 30 cm arriba --

del nivel normal de operación .

G) Recircular la solución ácida a través del generador de vapor, durante aproximadamente 6 horas dependiendo de los análisis . Tomar muestras cada 30 minutos y analizar hierro ferroso, hierro férrico, concentración de ácido . Cuando el valor de los análisis sea repetitivo se dará por terminada la limpieza .

H) Drenar la solución ácida bajo presión positiva de nitrógeno a  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ , totalmente, enviando la solución a la fosa de neutralización .

I) Llenar el generador de vapor con agua desmineralizada hasta  $3/4$  partes del domo, recircular durante 40 minutos y volver a drenar con presión positiva de nitrógeno, hacer los enjuagues necesarios hasta obtener un ph de 6 .

#### 2.6.4.2) Etapa de Neutralización y Pasivación

AA) Llenar el generador de vapor hasta el nivel normal de operación, recircular el sistema, encender quemadores para alcanzar una temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  .

BB) Preparar en el tanque de dilución de productos químicos drenando al mismo tiempo agua del generador de vapor, una solución que contenga :

Ácido cítrico 1.5 %

Inhibidor de corrosión 0.2 %

CC) Introducir la solución de ácido cítrico al sistema ajustando el ph a 3.5 con hidróxido de amonio, mantener en recirculación el sistema de 2 a 3 horas, analizando, cada 30 minutos hierro ferroso, hierro férrico y ph .

DD) Adicionar hidróxido de amonio para elevar el ph a 9.1, adicionando el 1% de carbonato de sodio, mantener en recirculación el sistema y verificar que esté completamente homogénea la solución .

EE) Bajar la temperatura a  $60^{\circ}\text{C}$  y adicionar el 1% de nitrito de sodio, manteniendo en recirculación el sistema durante 2 horas .

FF) Parar la recirculación, dejar en reposo el sistema durante 30 minutos, bombear aire limpio a través de las purgas de fondo de la caldera, durante 5 minutos espaciados dos o tres veces .

GG) Drenar la solución completamente a presión atmosférica, enjuagar si se requiere una vez .

HH) Dejar enfriar, abrir registro de hombre del domo y cabezales inferiores para inspeccionar .

NOTA: Existen otras alternativas para la limpieza química dependiendo del diseño

de la caldera, material de fabricación y recomendaciones del fabricante .

## 2.7) Indicaciones Para Poner en Servicio La Caldera Después de la Limpieza Química

a) Revisar el domo :

- Soplar las líneas de conexión de indicadores del nivel e instrumentos .
- Soplar las líneas de alimentación de sustancias químicas y la de purga con tintina .
- Lavar cualquier sedimento de las superficies internas y capas de separadores .

b) Revisar el colector inferior y lavarlo con agua limpia .

c) Revisar los cabezales que sean accesibles y lavarlos .

d) Cuando las superficies internas estén limpias :

- Instalar los separadores primarios y secundarios en el domo .
- Instalar los orificios y mallas en el domo de acuerdo a las instrucciones y dibujos .
- Instalar todas las tortugas de los cabezales que se hayan quitado o que no hayan sido soldadas en la fábrica .

e) Quitar todas las válvulas y conexiones que se usaron para el lavado ácido .

f) Cuando todos los trabajos en el domo y cabezales se hayan terminado, hacer -- una última inspección e instalar tapas de los registros .

g) Llenar la caldera con agua tratada al nivel de operación .

h) Preparar las bombas de circulación de la caldera .

Tomando en cuenta estas observaciones se considera que la caldera está lista para su puesta en servicio .

## 2.8) Reglas Preoperacionales Para Operación

Al preparar una nueva unidad para servicio se debe tomar en cuenta lo siguiente:

a) Los niveles ópticos se deben checar para ver que se instalen correctamente -- antes de la operación preliminar, así como probarlos en caso de que sean cambiados o reparados .

b) Las líneas de purga de la columna y de los niveles ópticos se deben entubar y cerrar las válvulas de drene . Los niveles deben de contar con un iluminador y ser visibles al operador desde el piso o desde el cuarto de control .

c) Todos los verticos, drenes y líneas de purga, deben estar accesibles y descar-

g) Conectadas a un tanque de purgas, tanque de sumidero u otra instalación de seguridad con el fin de proteger siempre al operador . Cuando se tiene más de una caldera, las válvulas de drene no deben estar conectadas entre sí .

d) Si las válvulas se localizan entre el domo y la columna de agua, colocarlas en una posición tal que facilite su operación .

e) Los medidores de presión deben ser visibles al operador y estar correctamente colocados con las válvulas de bloqueo .

f) Las válvulas de seguridad deben estar en condiciones de operación, sin las mordazas . Los tubos de descarga y drenes deben estar soportados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante .

g) Las partes internas del domo se deben instalar adecuadamente, para asegurar que el vapor siempre pase por ellas .

h) Instalar todas las conexiones que se juzguen convenientes .

i) Todos los instrumentos de operación y control, ya sean temporales o permanentes, se deben instalar, calibrar y operar correctamente .

j) Las áreas deben contar con iluminación suficiente .

k) Instalar escaleras y plataformas donde sean necesarias .

l) Los ductos de aire y gases deben estar libres de obstáculos y la unidad se debe purgar adecuadamente con circulación de aire através de ella .

m) Una vez que la unidad esté en operación, no debe interrumpirse la alimentación de agua .

n) Debe contarse con suficiente suministro de combustible .

ñ) Al cerrar todos los registros de acceso y observación, asegurarse que ninguna persona se halle dentro de la unidad .

## 2.9) Encendido Inicial de la Caldera

Existe un gran número de detalles que se deben inspeccionar antes de que una caldera se encienda por primera vez .

Todas las inspecciones y reparaciones programadas deben haber sido terminadas y las licencias o permisos en las varias partes de la caldera deben haber sido retiradas . Las válvulas y circuitos de fuerza auxiliares se deben revisar y alistar para operación; las válvulas de purga y drenaje se deben cerrar y la caldera se debe llenar con agua tratada, hasta un nivel de 10.15 a 15.25 cms abajo del nivel normal, al mismo tiempo se debe asegurar que el suministro de agua de

alimentación y que las bombas para ese servicio estén disponibles . Las columnas de agua e indicadores de nivel, así como los manómetros se deben poner en operación . En caso de que los indicadores de tiro o medidores de flujo, hayan sido -  
revisados durante un paro de la unidad, se deben alistar para ponerlos en operación de nuevo .

Después de que nadie permanece dentro de la unidad, previa inspección y que - todas las herramientas, andamios o escaleras han sido sacados, todas las aberturas cerradas, así como los ductos, la caldera podrá ponerse en servicio después de ensayar la operación de las compuertas, así como el equipo para quemar el combustible . Es también importante comprobar que la alimentación o existencia de - combustible son apropiadas y todas las tuberías y válvulas en el sistema de alimentación de combustible, sean revisadas y llenadas; las válvulas de control -  
puestas en servicio y en posición de arranque . Todas las disposiciones relativas a notificar que la caldera va a ser encendida por primera vez, se deben hacer a los agentes de seguros, inspectores de seguridad y despachadores de carga del sistema . Los medios adecuados para encender la caldera se deben alistar, - las líneas de venteo en el domo, purga del sobrecalentador y otras purgas en los puntos bajos del circuito de vapor, se deben abrir completamente .

Es muy conveniente que la caldera sea bien barrida con aire antes de que se - intente encenderla por primera vez, esto es especialmente aplicable a unidades - que utilicen combustibles gaseosos donde existe la posibilidad de que una fuga - de gas haya formado una mezcla explosiva. Después del barrido con aire, el flujo de aire a través de la unidad debe ser reducido y el tiro en el hogar regularse de 0.75 a 1.26 cms. . Una parte de aire se desvía para proporcionar al quemador - que se va a encender, el aire necesario para la combustión, pero sin que se tengan velocidades tan altas que apaguen la flama del piloto, o que la mezcla aire-combustible resulte difícil de encender, a este respecto es conveniente recordar que una mezcla rica en combustible es más fácil de encender .

Después de conectar el sistema de encendido eléctrico y de colocar en posi -  
ción el piloto de encendido, en el frente o ligeramente abajo del punto de entra  
da de combustible al hogar, se podrá iniciar la entrada de éste . Si el fuego no se enciende en los primeros segundos, el paso del combustible se debe interrum  
pir barriendo la caldera concienzudamente antes de intentar de nuevo el encendido,

teniendo cuidado de hacerlo con una mezcla ligeramente más rica para facilitar la ignición. En caso de que un segundo quemador sea encendido, debe observarse antes, si la flama es completamente estable y que éste quemador no se apague al descender la presión de combustible en la línea al encenderse el segundo. Es posible ayudar a mantener los fuegos en condiciones estables mediante líneas de recirculación que mantengan uniforme la presión en el cabezal de combustible; el régimen de combustión debe ser tal que se logre un fuego estable esencialmente libre de humo, sin un aumento demasiado rápido de la temperatura de los elementos del sobrecalentador. Las grandes calderas están limitadas por lo general, a un incremento de temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  por hora y debido a la diferencia de temperatura entre las partes externa e interna y las partes metálicas es posible lograr aumentos mayores de temperatura por hora.

La temperatura del metal del domo puede estimarse mediante termopares de vapor correspondiente a la presión que exista en el domo. Es conveniente llevar un registro de las temperaturas del domo en una curva, lo cual hace más fácil observar los incrementos de temperatura.

Cuando la circulación del vapor por los elementos del sobrecalentador es nula o pequeña, estos pueden sobrecalentarse si el régimen de combustión aumenta demasiado; las temperaturas del metal de los elementos del sobrecalentador se ven afectados por factores tales como: localización del sobrecalentador, proporción de la superficie de calefacción enfriada por agua, localización de los quemadores y la cantidad de vapor descargada a la atmósfera a través del venteo del sobrecalentador. El tipo de metal usado en los elementos determina el máximo del límite permisible de temperatura para el arranque, normalmente esto es igual a la temperatura del vapor a condiciones de operación; mediante termopares adheridos en la superficie exterior de los elementos, es posible obtener y vigilar las temperaturas de los elementos ayudando así a establecer los regímenes de combustión adecuados y óptimos procedimientos para el arranque. En algunas unidades se obtienen buenos resultados usando los quemadores superiores para evaporar el agua de los elementos del sobrecalentador, tan aprisa como sea posible, mientras que las superficies de la caldera están aún frías. En otras unidades es necesario usar los quemadores inferiores para incrementar la presión de la caldera a un valor donde el agua, dentro de los elementos, es desalojada antes de que es-



tos se calienten demasiado . Cuando se opera con quemadores de gas o de combustible líquido, es posible ajustarlos a fin de conseguir el régimen de combustión deseado, mientras que si se opera con equipos que queman carbón pulverizado, es necesario operar durante períodos de unos 10 a 15 minutos, a fin de obtener una liberación promedio de calor suficientemente baja, incluso algunas veces se usan los pilotos de encendido durante la primera parte de la operación para evitar un encendido intermitente .

Cuando la presión de la caldera alcanza de 7 a 9 kg/cm<sup>2</sup>, el venteo de los domos y cabezal de admisión del sobrecalentador se deben cerrar para que la totalidad del vapor generado sea forzado a través del sobrecalentador y ayude a enfriarlo . Es aconsejable el permitir que la presión en la tubería al cabezal de descarga vaya subiendo al mismo tiempo que en la caldera, esto es, si el arreglo de la tubería lo permite . Por medio de lo anterior se consigue un mayor flujo a través del sobrecalentador y se evitan esfuerzos térmicos al calentar la tubería gradualmente; todos los tramos de la tubería se calientan se deben mantener bien purgados, aislando de ser posible, las trampas para asegurar que la purga sea completa . A medida que la presión en la caldera aumenta, la unidad debe ser inspeccionada frecuentemente a fin de constatar que la expansión se está verificando apropiadamente y que no se han desarrollado fugas en las juntas de los registros o en alguna otra parte; puede llegar a ser necesario que las juntas necesiten ser golpeadas ligeramente a fin de conseguir que asienten mejor y eviten fugas .

A medida que la caldera se calienta, el nivel de agua se incrementa hasta un punto tal que se hace necesario extraer alguna cantidad de agua, sin embargo, debido a que la cantidad de vapor que se ventea a la atmósfera se incrementa por momentos, el nivel de agua descenderá haciendo necesaria la alimentación de agua.

Cuando la unidad está equipada con un economizador es aconsejable alimentar la suficiente agua de alimentación para que esta llegue a hervir o caliente demasiado al economizador . Por lo tanto es conveniente iniciar el encendido con sólo una pequeña cantidad de agua visible en el cristal .

El precalentador de aire es aislado del circuito u operado de modo que mantenga altas las temperaturas de los gases de escape, evitando así los depósitos que la humedad produce en él y en el colector de polvo ya que dichos depósitos son corrosivos .

Las válvulas de seguridad, son algunas veces levantadas a mano antes de que la caldera alcance su presión máxima; las válvulas de alivio operadas por motor colocada en la salida del sobrecalentador son operadas varias veces, exactamente antes de que la caldera tome carga a fin de extraer el agua de la tubería de los sobrecalentadores del tipo colgante .

Si la caldera alimenta un cabezal de vapor, la válvula de estrangulamiento es abierta poco antes de que la caldera llegue a la presión del cabezal, para que pueda tomar la carga de una manera gradual y que vaya de acuerdo con el régimen de combustión ; se supone que existe en la tubería una válvula check que evite el retroflujo de vapor . Si la presión de la caldera es superior a la presión del cabezal, la válvula que la aísla debe abrirse lentamente para evitar el súbito flujo de vapor desde la caldera que podría originar un arrastre de agua .

Todas las partes se deben purgar para evitar el golpe de ariete; los by-pass de las trampas , así como las purgas controladas manualmente en las líneas de vapor pueden ir cerrando a medida que las tuberías se vayan calentando . En este punto es necesario alistar los quemadores restantes y el sistema de suministro de combustible para ponerlos en operación a medida que la presión de vapor así lo amerite . El flujo de aire se debe incrementar al valor correspondiente con el mayor flujo de combustible y los fuegos serán observados cuidadosamente, con la finalidad de mantener una flama sin fluctuaciones y limpia en cada quemador .

Los reguladores de agua de alimentación deben ser puestos en servicio tan pronto como puedan operar propiamente manteniendo el nivel de agua en la caldera.

La temperatura del vapor también se observa constantemente para evitar una temperatura excesiva del vapor sobrecalentador que puede ser causada por un exceso del aire de combustión , una deficiencia de aire o un régimen de combustión excesivo .

El método de encendido y el control de temperatura son por lo general, ajustados para una temperatura mínima, ya que alguna cantidad extra de calor es tomada para calentar la unidad y otras partes de la caldera .

Aún cuando una parte de la carga haya sido tomada por la unidad puede haber agua bloqueando alguno de los elementos del sobrecalentador y no se podrá estar seguro de que todos los elementos están limpios hasta que la temperatura del vapor tomada de elementos representativos se haya uniformado, hasta entonces se —

podrá incrementar la carga con toda seguridad .







Una rutina basada en experiencias preliminares que asegure la limpieza de todos los elementos del sobrecalentador en el tiempo más corto, debe ser establecida . La proporción en la cual la carga se incrementa es bastante alta en lo que a la caldera se refiere, pero es importante mantener la presión cercana a la normal para asegurar una liberación uniforme de calor y evitar dificultades con los equipos auxiliares, debidos a baja presión de vapor, o a la pérdida de calor y vapor al hacer operar las válvulas de seguridad por alta presión . Si se permite que la presión descienda y la unidad es alimentada con un exceso de combustible para incrementarla de nuevo, se experimentan temperaturas de vapor peligrosamente altas . Los aumentos repentinos de carga pueden causar también un incremento rápido en el nivel del agua, por lo tanto se recomienda aumentar la carga en pequeños incrementos uniformes y no a grandes pasos . A medida que la carga aumenta se deben ir poniendo en operación quemadores adicionales, manteniendo ajustados los flujos de aire y combustible en proporción directa durante los cambios de carga . El hogar se debe inspeccionar a medida que se llegue a un nuevo nivel de carga para ver que los quemadores estén todos operando propiamente y que se mantiene una buena combustión . Los flujos de aire se deben cambiar junto con los de combustible, teniendo preferencia por el de aire sobre el de combustible si uno debe ser ajustado antes que el otro. Un procedimiento similar es usado cuando la unidad esté equipada con alimentadores, aunque una mayor reserva de combustible es disponible en la cama, de este modo, la relación aire-combustible no es cambiada tan rápidamente excepto por cambios en el espesor o características de la cama . El espesor de la cama de combustible, así como su longitud pueden ser variadas, algunas veces con alguna anticipación a un incremento de carga, haciendo más fácil el tomarlo . El alimentar demasiado carbón, originará que el fuego se ponga negro o que disminuya el aire en el frente del alimentador, por el contrario, si el flujo de aire se incrementa considerablemente con sólo una delgada cama de combustible, puede originar la formación de hoyos en el fuego .

Cuando la carga ha llegado a un 20 o 30% de la carga total, es generalmente posible poner en operación el control automático de combustión, pero su operación debe ser vigilada por algún tiempo, para ver si está funcionando correctamente .

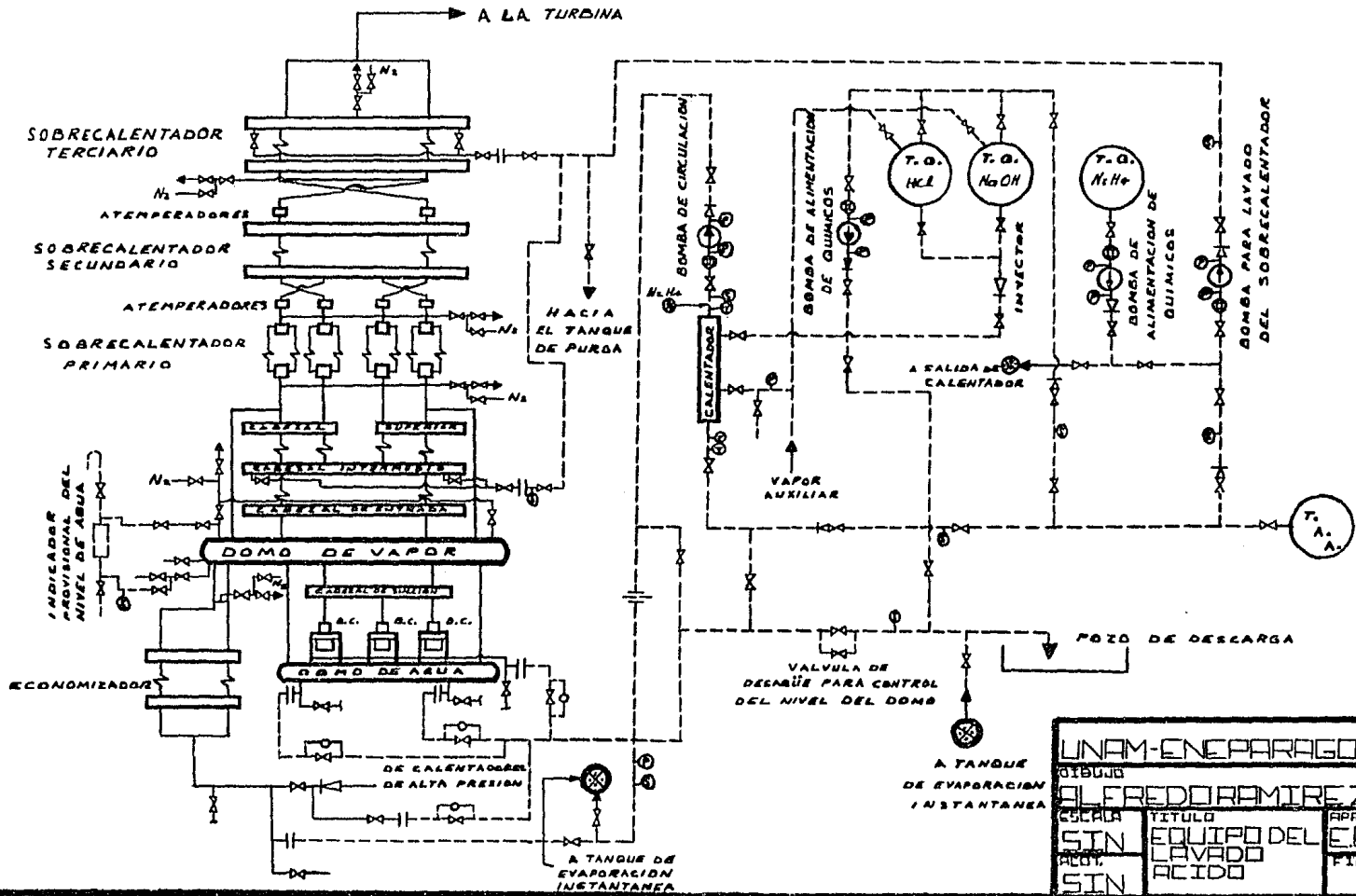
Al llegar la operación a este punto, los by-pass deben cerrarse y los arre-

*glos especiales necesarios para el arranque se ponen en condiciones normales de operación. Cuando la carga se ha estabilizado al régimen deseado, se debe efectuar una inspección minuciosa de todas las partes de la unidad y sus auxiliares.*

DEFINICIONES DEL DIBUJO (EQUIPO PARA EL LAVADO ACIDO).

-  Medidor de presión .  
 Termómetro .  
 Punto de muestra .  
 Medidor de flujo .  
 Indicador de flujo .  
 Equipo y tubería provisional .  
 B.C. Bombas de circulación .  
 T.Q. Tanque de químicos .  
 T.A.A. Tanque de almacenamiento de agua .

NOTA: Las bombas de circulación y el cabezal de succión son sólo para unidades de circulación controlada .



LINAM-ENEPARAGON			
DIBUJO			
AL FREDORAMIREZ S.			
ESCALA	TITULO	APROBADO	
SIN	EQUIPO DEL	EES.	
RECIBI	LAVADO	FIG. N.	
SIN	ACIDO		

**CAPITULO NO.3**

**OPERACION DE LOS GENERADORES  
DE VAPOR .**

## C A P Í T U L O 3

### OPERACION DE LOS GENERADORES DE VAPOR .

#### 3.1 Generalidades

Las calderas están diseñadas para llenar ciertos requisitos económicos; puesto que el costo del vapor generado, es lo que determina la eficiencia de la caldera, es importante llevar registros exactos del vapor generado y combustible consumido desde el principio . Los registros de flujo de vapor, flujo de aire o análisis de gases, temperatura, tiros y análisis de combustibles, mostrarán cuales son las condiciones de operación y proveerán la información necesaria para corregir condiciones anormales tan pronto como ocurran . Esta información ayudará a trabajar las calderas segura y económicamente durante largos períodos de tiempo, a reducir el tiempo fuera de servicio y a mejorar en general las condiciones de operación .

Para lograr ésto, deberá fijarse una norma de resultados de operación para cada planta en particular, con los resultados óptimos que puedan obtenerse de acuerdo con las condiciones de la instalación y el tipo de carga .

El grado de aproximación de las condiciones reales de operación a las normas fijadas, dependerá de la supervisión proporcionada a la operación diaria . De ahí se desprende la necesidad de hacer reportes diarios y arreglos de tal modo que puedan compararse con cualquier grupo de condiciones de operación de cualquier período de tiempo . Si las condiciones de operación caen fuera de estas normas, deberá encontrarse la falla y corregirla .

#### 3.2) Descripción del Sistema

##### 3.2.1) Circuito de Agua - Vapor

El agua de alimentación es suministrada al economizador desde las bombas de agua de alimentación a través de los cabezales de entrada al economizador por las válvulas de paro y de no retorno; el flujo de agua de alimentación fluye en sentido ascendente a través del economizador el cual está en contrasentido al flujo de gases calientes de combustión . (El propósito del economizador es el de precalentar el agua de alimentación al generador de vapor antes de que ésta sea introducida dentro del horno por recuperación de calor, de los gases de combustión saliendo del generador de vapor). La línea de recirculación del economiza-



don que conecta al cabezal de entrada del economizador con el domo inferior, sirve para mejorar el flujo de agua de alimentación durante los arranques; del cabezal de salida del economizador el agua de alimentación pasa al domo de vapor, -- descendiendo el agua por los tubos de bajada, recolécandose ésta en el cabezal de succión de las bombas de circulación, las cuales se hayan colocadas en el circuito de tubos de bajada, para asegurar la adecuada circulación en todos los circuitos del generador de vapor, además de que se cuenta con tubos de pitot que están fijados a la entrada de cada circuito de pared de agua, para obtener un flujo adecuado de agua a través de cada circuito .

La succión de la bomba de circulación, toma el agua del cabezal de succión -- que es alimentado desde los tubos de descenso del domo de vapor; de las bombas de circulación del generador de vapor el agua es descargada dentro de la pared de agua al domo inferior, en éste el agua del generador de vapor pasa a través de filtros y de los orificios alimentando a los tubos de la pared del horno, el agua contenida en estos tubos absorbe calor y la mezcla resultante de agua y vapor es colectada en los cabezales de salida y descargados dentro del horno a través de los tubos ascendentes .

En el domo de vapor, el vapor es separado del agua, el vapor saturado permite que el vapor del domo sea conducido a los tubos colectores del sobrecalentador -- pasando a través de los varios pasos o etapas de éste (de baja, intermedia y alta temperatura), y es admitido a la turbina de alta presión a través de la línea de vapor principal. Después de que el vapor se ha expandido a través del paso de la turbina de alta presión, éste es retornado al recalentador en el generador de vapor, donde es recalentado a la temperatura de diseño . El vapor recalentado es retornado a la turbina de presión intermedia, expandiéndose éste a través del paso de la turbina . El domo de vapor y el cabezal de entrada del recalentador se encuentran interconectados para que en el arranque (inicio de levantar carga), -- se ajusten las aperturas de las válvulas de seguridad del recalentador .

El agua - vapor procedentes de las purgas continuas del domo del generador de vapor son descargados al tanque de evaporación instantánea y el vapor entrampado dentro del tanque es enviado al calentador desareador, mientras que el agua es -- enviada al tanque de purgas a través de la válvula de control . Todas las purgas del generador de vapor (sopladores de hollín, sobrecalentador, recalentador, --

domo, atemperadores y tanque de evaporación instantánea), cajas de vapor de la turbina y de las líneas de vapor principal son enviadas al tanque de purgas y de aquí al drenaje por medio de un sifón.

Por otra parte, generalmente se cuenta con algunos juegos de atemperadores o sobrecalentadores los cuales se hayan localizados, uno en las conexiones de unión del cabezal de salida del sobrecalentador de baja temperatura con el cabezal de entrada del sobrecalentador de temperatura intermedia; otro en las conexiones de unión del cabezal de salida del sobrecalentador intermedio con el cabezal de entrada del sobrecalentador de alta temperatura; mientras que otro juego se encuentra localizado en la línea principal de recalentado frío, en el cabezal de entrada del recalentador.

El agua de alimentación para los atemperadores de los sobrecalentadores proviene del cabezal de descarga de las bombas de agua de alimentación, la cual pasará por un sistema de medición; mientras que el agua de alimentación para los atemperadores del recalentador proviene de un paso intermedio de las bombas de agua de alimentación, la que también pasará por un sistema de medición.

Para todos los atemperadores se cuenta con válvulas de control las que se hayan acopladas a una unidad de movimiento automático del control, las cuales regularán el flujo de agua de rocío suministrada a cada atemperador para que de esta forma se mantenga la temperatura del vapor principal y/o vapor recalentado constante. Del cabezal de entrada del sobrecalentador de alta temperatura se extrae vapor para servicios tales como sopladores de hollín, calentadores de aire a vapor, así como vapor para los servicios auxiliares de la planta.

### 3.2.2) Circuito Aire - Gases

El aire requerido por la unidad es suministrado por los ventiladores de tiro forzado, el cual se empleará para diversos fines, tales como:

Aire para la combustión .- para el sistema de pilotos y quemadores tangenciales.

Aire de sello .- para aperturas del horno y ducto de recirculación de gases.

a) Aire de combustión para el sistema de quemadores tangenciales.

El aire de combustión para el sistema de quemadores tangenciales, es suministrado por los ventiladores de tiro forzado, el cual es precalentado por los calentadores de aire a vapor y por los precalentadores de aire regenerativos que -

usan el calor residual de los gases de la combustión del horno . Una vez precalentado pasará a través de un sistema de medición y es admitido a las cajas de aire por medio de compuertas . El aire de combustión se mezclará en la garganta de los quemadores con el combustible, generándose así los gases de combustión dentro del horno del generador de vapor . Estos gases producto de la combustión siguen su curso dentro del horno, sobrecalentador, recalentador y economizador, a la salida de este último, una cantidad de gases de combustión será succionada por el ventilador de recirculación de gases de combustión, para controlar la temperatura del vapor recalentado y serán descargados nuevamente a través del horno, sobrecalentador, recalentador y economizador, siguiendo hacia los precalentadores de aire regenerativos y descargando finalmente por medio de unos ductos a la chimenea con ayuda de los ventiladores de tiro inducido .

Un sistema de compuertas del tipo de álabes directrices están previstas a la entrada de los ventiladores de tiro forzado y sirven para controlar el flujo de aire; otro sistema de compuertas similar a los anteriores están localizadas a la descarga del calentador de aire a vapor y a la descarga del precalentador de aire regenerativo, con el propósito de aislar éstos de los ventiladores durante bajas cargas .

Los ductos de descarga de los ventiladores de tiro forzado dentro del ducto de entrada del calentador de aire a vapor, están interconectados entre sí por un ducto común del cual se extrae aire para pilotos y aire de enfriamiento .

Los ductos de descarga de los precalentadores de aire regenerativos después del sistema de medición, están interconectados entre sí por un ducto común .

Los ductos de descarga de los calentadores de aire a vapor están interconectados entre sí por un ducto común, del cual se extrae el aire de sello de los ventiladores de recirculación de gases .

#### B) Aire de combustión para pilotos .

El aire de combustión para pilotos es tomado de la salida de los ductos del ventilador de tiro forzado . Este será admitido por las cuatro cajas del aire de pilotos a través de la conexión de entrada de aire en el fondo . Un ventilador auxiliar con compuertas de control automático, suministra el aire para pilotos a un cabezal, el cual mantiene una caída de presión constante de aire a través de las cajas de aire de pilotos .

C) Aire de sello del horno .

El aire de sello será usado para mantener un sello contra la presión del horno (presión en el ducto), en los puertos de observación, paredes, flechas de las compuertas, etc.. Este aire para sello es tomado del ducto común de salida del ventilador de tiro forzado .

D) Aire de sello para los ductos de recirculación de gases .

Los ductos de salida del ventilador de recirculación de gases, cajas de aire y el ducto de aire caliente para el sistema de quemadores tangenciales, se hayan conectados por medio de un ducto de aire de sello para permitir la presurización de la caja del ventilador cuando el sistema de recirculación de gases no está en servicio .

E) Gases de combustión .

Los gases de combustión son tomados de la salida del economizador y reintroducidos en el fondo del horno . Viajan en sentido ascendente a través del horno y después en sentido descendente a través del paso posterior de los gases .

F) Sistema de recirculación de gases .

El sistema de recirculación de gases está previsto como un medio de control de la temperatura del vapor recalentado; la recirculación de una parte de gases de combustión a través del horno aumentará el gradiente de temperatura .

El control se obtiene por la regulación de la cantidad de gases recirculados (posicionador de las compuertas de paro en la entrada del ventilador de recirculación de gases). Puesto que el ducto de recirculación de gases forma un circuito corto de potencial, un ventilador de recirculación de gases está previsto en el ducto con el propósito de vencer la presión que exista entre los puntos de salida y entrega .

Se incluyen en el sistema de recirculación de gases, los siguientes conjuntos de compuertas :

- Compuertas de control de cierre a la entrada del ventilador de recirculación de gases .
- Compuertas de cierre a la descarga del ventilador de recirculación de gases .
- Compuertas de cierre de aire de sello .

### 3.3) Parámetros a Controlar y Cuidados que Deben Tenerse Durante la Operación

#### 3.3.1) Parámetros a Controlar

Los parámetros a medir durante la operación de los generadores de vapor se hayan indicados en los diagramas de tubería e instrumentación, tanto por el lado de agua - vapor, como por el lado de aire - gases que se encuentran anexos a este capítulo. Lectura de instrumentos importantes así como de equipo auxiliar deben ser registradas cada hora y estudiadas para detectar cualquier variación anormal.

La cantidad de combustible consumida deberá medirse ó estimarse, los medios que se empleen dependerán de la naturaleza del combustible y del equipo disponible para su medición. Debe obtenerse ocasionalmente, un análisis del combustible que se usa. La temperatura y el análisis de los gases que abandonan la caldera nos indican si la combustión es completa y económica. La combustión deberá completarse antes de entrar al primer paso de la caldera, cuando se usa solamente una cantidad limitada de exceso de aire, por ejemplo, ligeramente mayor que la cantidad teórica necesaria para oxidar el combustible; el mejor porcentaje de exceso de aire dependerá de la clase de combustible, del diseño del equipo de quemadores y de muchos otros factores, así que las condiciones mejores para diferentes cargas, deben establecerse para cada instalación en particular.

La presencia de monóxido de carbono (CO) en los gases indica una combustión incompleta; el analizador de Orsat es el mejor medio para conocer las concentraciones de CO y CO<sub>2</sub>.

La evaporación debe medirse con un medidor de flujo de vapor. La temperatura del agua de alimentación y la temperatura del vapor si es sobrecalentado, deben chequearse así como también la presión a la salida del domo y del sobrecalentador.

La caída de presión a través del sobrecalentador se incrementa con la carga y con la presencia de depósitos en los elementos del sobrecalentador, esto último indica que ha habido arrastres y por lo tanto debe corregirse.

#### 3.3.2) Observaciones y Cuidados

Al usar agua caliente para alimentar la caldera se debe tener cuidado de llenarla lentamente para evitar severos espumazgos térmicos.

Debe observarse siempre que la unidad esté con los ventenos abiertos y llenarse hasta que aparezca el agua en el nivel visual. El venteo del domo deberá — abrirse durante la operación del llenado y no debe cerrarse hasta que el aire ha ya salido totalmente y una cantidad apreciable de vapor esté saliendo por él.

Antes de encender la caldera deben abrirse las válvulas de purga de los cabezales de los sobrecalentadores, dichas válvulas deben cerrarse después de que se hayan purgado los sobrecalentadores, con excepción de la válvula del cabezal de salida del sobrecalentador, que deberá permanecer abierta hasta que la unidad — esté en la línea y tomando carga, esta válvula puede estrangularse cuando la caldera tenga suficiente presión para asegurar un flujo considerable a través del — sobrecalentador.

El tiempo requerido para llevar la temperatura y presión de una caldera dependerá del tamaño de ésta, así como de la temperatura y presión a la cual opera.

Durante el arranque inicial de una caldera nueva la capacidad del fuego debe limitarse para permitir la inspección de los movimientos de expansión y tolerancias. El incremento de la capacidad del fuego debe ser tal que se tenga un aumento no mayor de  $55^{\circ}\text{C}$  por hora en la temperatura del vapor saturado, los siguientes arranques pueden hacerse más rápidos pero siempre controlando la capacidad del fuego para asegurar la protección del sobrecalentador durante este período. El control se hace limitando la temperatura de los gases que entran al sobrecalentador. En una emergencia puede ser necesario acortar el tiempo para — llevar la caldera a la presión de línea. El control del fuego durante el encendido debe hacerse siempre en manual, nunca arrancar con el equipo de control de combustión en automático, o con el regulador automático de agua de alimentación funcionando.

Si se ha incluido en la instalación un economizador, será necesario, durante el período de arranque alimentar más agua de la que normalmente se requiere y — purgar continuamente, para mantener el nivel de la caldera, con lo anterior se — asegura un flujo suficiente de agua a través del economizador y se evita la formación de vapor en éste.

Siempre deberán hacerse los arranques con encendido manual, tanto el control de agua de alimentación como de combustible y aire de combustión, nunca intentar arrancar con control automático.

El ajuste durante la operación es para regular la tasa de flujo del aire de combustión (aire primario y secundario) y combustible para mantener la mejor condición de flama, vigilando el % de  $O_2$  y la temperatura del gas de salida de la caldera, de acuerdo con la carga de ésta .

En el encendido del aceite combustible grueso, la flama está en mejores condiciones cuando toma un color naranja transparente brillante, si el aire es excesivo la flama brilla blanca y se quema violentamente, si es deficiente el interior del horno se hace oscuro y toma un color naranja humo; en algunos casos se hace imposible vigilar la flama desde la mirilla de observación del horno debido al humo . También es posible juzgar la propiedad del aire de combustión por el humo de la chimenea, la combustión es óptima si los gases de escape son brillantes, gris niebla; si el aire es deficiente en el horno, el humo se torna oscuro y grueso .

Los quemadores deberán estar bien balanceados, en el arranque generalmente se eleva la presión y temperatura con unos cuantos quemadores durante algún tiempo, para lograr la regularización del incremento de temperatura requerida .

### 3.3.2.1) Nivel de Agua

Antes de encender se debe de checar el nivel de agua en la caldera purgando - la columna de agua y del indicador de cristal, una purga prolongada del indicador servirá para eliminar cualquier materia que esté presente y limpiar los asientos de la válvula, este procedimiento debe repetirse varias veces durante el encendido . La inspección del nivel cuando la caldera está en operación, debe hacerse - cuando menos una vez por hora; si la acción del agua en el indicador es lenta - cuando la válvula de purga se barre o cierra, deberá investigarse la causa y corregirse inmediatamente . Durante la operación normal el indicador de nivel deberá observarse periódicamente aún cuando se tenga un regulador automático de agua de alimentación e indicadores remotos del nivel . No es una buena práctica cerrar completamente el suministro de agua de alimentación a la caldera aún cuando sea por un corto tiempo . A menos que se tengan informaciones contrarias, el agua debe mantenerse cerca del centro del indicador y los ajustes del nivel se hacen en forma gradual . Si el nivel de agua es demasiado alto pueden existir arrastres, especialmente si la demanda de vapor es grande y con fluctuaciones rápidas .

Si se presentan los arrastres debe bajarse el nivel, usando libremente las -

purgas y alimentando manualmente, manteniendo éste con cuidado para evitar que -  
descienda. Analizar el agua de la caldera y revisar las partes internas del domo  
cuando se tenga la oportunidad.

Mientras la caldera se encuentre levantando presión debe tomarse la previsión  
de calentar y drenar gradual y adecuadamente las tuberías de vapor. Si la línea  
de vapor principal está fría es recomendable aumentar la presión desde el comienzo  
abriendo todas las válvulas y by-pass para este propósito.

### 3.3.2.2) Precalentador de Aire

Observar cuidadosamente la temperatura de los gases a la salida del precalen-  
tador de aire, particularmente durante los períodos de arranque, ya que cualquier  
incremento súbito puede indicar que el fuego se ha desarrollado en el precalenta-  
dor o en los ductos. Se deben operar los sopladores de hollín de los precalenta-  
dores tan pronto como la caldera se arranque o antes si esto es posible.

Deben tomarse todas las precauciones posibles para mantener las superficies -  
de los precalentadores limpias.

La temperatura de los gases en la chimenea varía con la carga, si se lleva un  
registro de ésta, la temperatura de los gases de la chimenea y el tiempo en que  
los sopladores se operan, será más fácil reconocer cuando la temperatura de los  
gases es normal. Si la temperatura está abajo de la normal, para la carga a la  
cual está operando la unidad, véase:

a) La relación de exceso de aire es baja si contiene mucho  $CO_2$  y algo de  $CO$  y -  
hollín.

b) Checar que no haya fugas de gases por las paredes de agua o en los ductos.

Si la temperatura de gases de salida está muy alta, véase:

a) Muy alto exceso de aire.

b) Superficies de calefacción sucias.

c) Combustión secundaria.

d) Fugas en la pared intermedia (Baffle).

e) Fuego en el precalentador de aire.

El precalentador de aire está equipado con ductos de aire caliente de recircu-  
lación para control de la corrosión. En los arranques de la caldera y cuando la  
operación está a baja capacidad, es deseable usar los ductos de aire caliente de



recirculación para conservar la temperatura, del extremo frío del precalentador arriba del punto de rocío de los gases. El punto de rocío de los gases varía debido a la naturaleza de los combustibles o a condiciones de operación; en el caso del petróleo puede determinarse por el contenido de azufre y vanadio.

### 3.3.2.3) Sopladores de Hollín

Los sopladores de hollín deben operarse tan frecuentemente como sea necesario para conservar las superficies de calentamiento limpias. Una indicación de la necesidad de usar los sopladores de hollín puede tenerse observando la temperatura de los gases de la chimenea, si esta temperatura se registra después del soplado, para una liberación de calor conocida y relación aire - combustible, los registros subsecuentes de esta temperatura con las mismas condiciones, pueden servir como guía para determinar el uso de los sopladores de hollín, normalmente deben usarse cuando menos dos veces cada 24 horas, aunque es probable que una buena práctica requiera un uso más frecuente de éstos.

Se encontrará más dificultad en el uso efectivo de los sopladores, cuando se ha acumulado una cantidad considerable de hollín en las superficies, lo cual favorece la corrosión.

Antes de poner en servicio los sopladores debe incrementarse la velocidad del o de los ventiladores; nunca se deben usar los sopladores con la caldera fría, - deben usarse cuando la caldera esté en operación o cuando vaya a salir fuera de servicio.

Si la caldera está fría existe la posibilidad, que debido a la contracción, el choque directo de algunos chorros de vapor erosionen los tubos de metal.

Si se está quemando petróleo asegurarse de que la combustión esté lo suficientemente estable cuando se haga el soplado, para evitar la posibilidad de extinguir las flamas; es muy importante la purga adecuada de las tuberías del sistema de los sopladores de hollín.

Cuando haya un paro de la caldera llevar a cabo un soplado de hollín antes de apagar los quemadores, dicho soplado debe ser de acuerdo a la dirección del flujo de gases, o sea, operando primero el soplador más cercano a la zona de radiación, luego el siguiente, y así hasta el del precalentador.

Se debe desarrollar un itinerario adecuado a las necesidades particulares pa-

ra evitar problemas . Cuando se tenga baja carga en la caldera y sea necesario - un soplador de hollín, primeramente se aumenta el flujo de aire y luego se inicia el soplado, esto se hace para asegurarse de la purga de hollín del sistema .

Cuando se tienen cargas muy bajas, se pueden encender los pilotos para mantener la ignición .

Si el medio de soplado es el vapor, debe dársele un drene adecuado al sistema de tubería del soplador de hollín antes de utilizarse dentro del horno, el vapor empleado deberá ser libre completamente de condensados, para evitar la corrosión de los tubos al chocar los condensados con la superficie de estos .

#### 3.3.2.4) Control de la Temperatura del Vapor

La temperatura del vapor varía con la carga, aumenta con el incremento de la carga y disminuye cuando la carga decrece . Con una carga constante la temperatura del vapor sobrecalentado será alta, para determinada carga sí :

- a) El exceso de aire es demasiado alto .
- b) La temperatura del agua de alimentación es demasiado baja .
- c) El hogar tiene demasiada escoria .
- d) Se ha producido alguna combustión secundaria .
- e) El ajuste de la temperatura está arriba de lo normal .

La temperatura del vapor sobrecalentado estará abajo de lo normal para determinada carga, sí :

- A) El exceso de aire es demasiado bajo .
- B) La temperatura del agua de alimentación es demasiado alta .
- C) Existe alguna falla en tubos de las paredes .
- D) La presión del vapor está abajo de lo normal .
- E) El ajuste de la temperatura está abajo de lo normal .
- F) El sobrecalentador está sucio externa o internamente .

Si la temperatura del vapor sobrecalentado cae y recupera su valor rápidamente, existe arrastre de agua .

#### 3.3.2.5) Partes Internas del Domo

El vapor que entra al domo, llevando del 20 al 40 % de agua en volumen, es colectado en un compartimiento formado por deflecciones internas . Cuando se usan dos hileras de separadores, una de estas hileras está montada directamente en es

te compartimiento y la segunda está montada en los codos de los tubos que al dar vuelta se conectan al lado del mismo compartimiento .

En el arreglo interno completo del domo deben considerarse tres pasos de tratamiento o separación :

a) El separador centrífugo o ciclónico que es el primer paso y que hace girar la mezcla, proyecta el agua hacia el exterior y fuerza el vapor hacia el interior .

Justo arriba del ciclón se encuentra un colector que recoge el agua que ha sido forzada hacia el exterior y la regresa hacia la masa de agua del domo a través de una cámara que rodea a la cámara interna en donde se encuentra el ciclón; el vapor sigue hacia arriba al siguiente paso .

b) El segundo paso consiste en dos bancos opuestos con muy poca separación entre sí, de hojas metálicas corrugadas que hacen que el vapor siga una trayectoria - tortuosa forzando cualquier remanente de agua contra las hojas corrugadas, como la velocidad es relativamente baja, esta agua no puede ser nuevamente recogida - de la superficie de las hojas y por lo tanto cae de las hojas corrugadas, a la - masa de agua .

c) El tercer paso es un tamiz secador el cual elimina cualquier cantidad de agua que lleve todavía el vapor hasta el punto que el vapor sale del domo con las especificaciones de 1ppm de contenido de sólidos disueltos .

Podría decirse que existe un cuarto paso de separación entre la sección de hojas corrugadas y la sección de tamices secadores ya que el vapor que sale de las hojas corrugadas es uniformemente distribuido en el domo, y fluye con una velocidad relativamente baja hacia los tamices secadores con lo cual se sedimenta algún rocío durante el paso del vapor a través del domo .

### 3.3.2.6) Purgas

No hay una regla general que pueda aplicarse con respecto a la frecuencia con que deba purgarse una caldera, mucho depende de la naturaleza del agua, del tratamiento del agua de alimentación, del diseño de la caldera y de la carga .

El número de purgas y la frecuencia de éstas debe gobernarse a la concentración del agua de la caldera .

Las válvulas de extracciones de fondo y superficie podrán ser usadas intermitentemente como un medio para controlar factores tales como: alcalinidad y forma

ción de lodos . En ningún caso se operarán las válvulas de los cabezales de las paredes para purgar, mientras la caldera esté en operación . Estas válvulas podrán operarse cuando la caldera esté fuera de servicio o respaldata .

El uso de la purga continua hace posible obtener un mejor control de las concentraciones del agua de la caldera, del que puede obtenerse mediante purgas intermitentes . La frecuencia de las purgas de la caldera deben estar reguladas de tal manera que la concentración de materias en suspensión y sólidos disueltos - se conserven muy por abajo del punto en que pueda producirse un arrastre .

En ningún caso deberán ignorarse o excederse las especificaciones dadas para sólidos disueltos, alcalinidad, ph, etc..



*Definiciones del dibujo ( Sistema Agua - Vapor ).*

- 1.- Cabezal de entrada al economizador .
- 1a.- Cabezal de salida del economizador .
- 2.- Domo .
- 3.- Cabezal de succión . +
- 4.- Bombas de circulación controlada . †
- 5.- Cabezal de alimentación .
- 6.- Cabezales superiores .
- 7.- Cabezal de entrada .
- 7a.- Cabezal intermedio .
- 7b.- Cabezal superior .
- 8.- Cabezales de entrada y salida del sobrecalentador primario .
- 9.- Atemperadores .
- 10.- Cabezal de entrada del sobrecalentador secundario .
- 10a.- Cabezal de salida del sobrecalentador secundario .
- 11.- Cabezal de entrada del sobrecalentador terciario .
- 11a.- Cabezal de salida del sobrecalentador terciario .
- 12.- Cabezal de entrada al paso de recalentamiento .
- 12a.- Cabezal de salida del paso de recalentamiento .
- 13.- Tanque de purga continua .
- 14.- Tanque de purga intermitente .
- 15.- Paredes de agua .

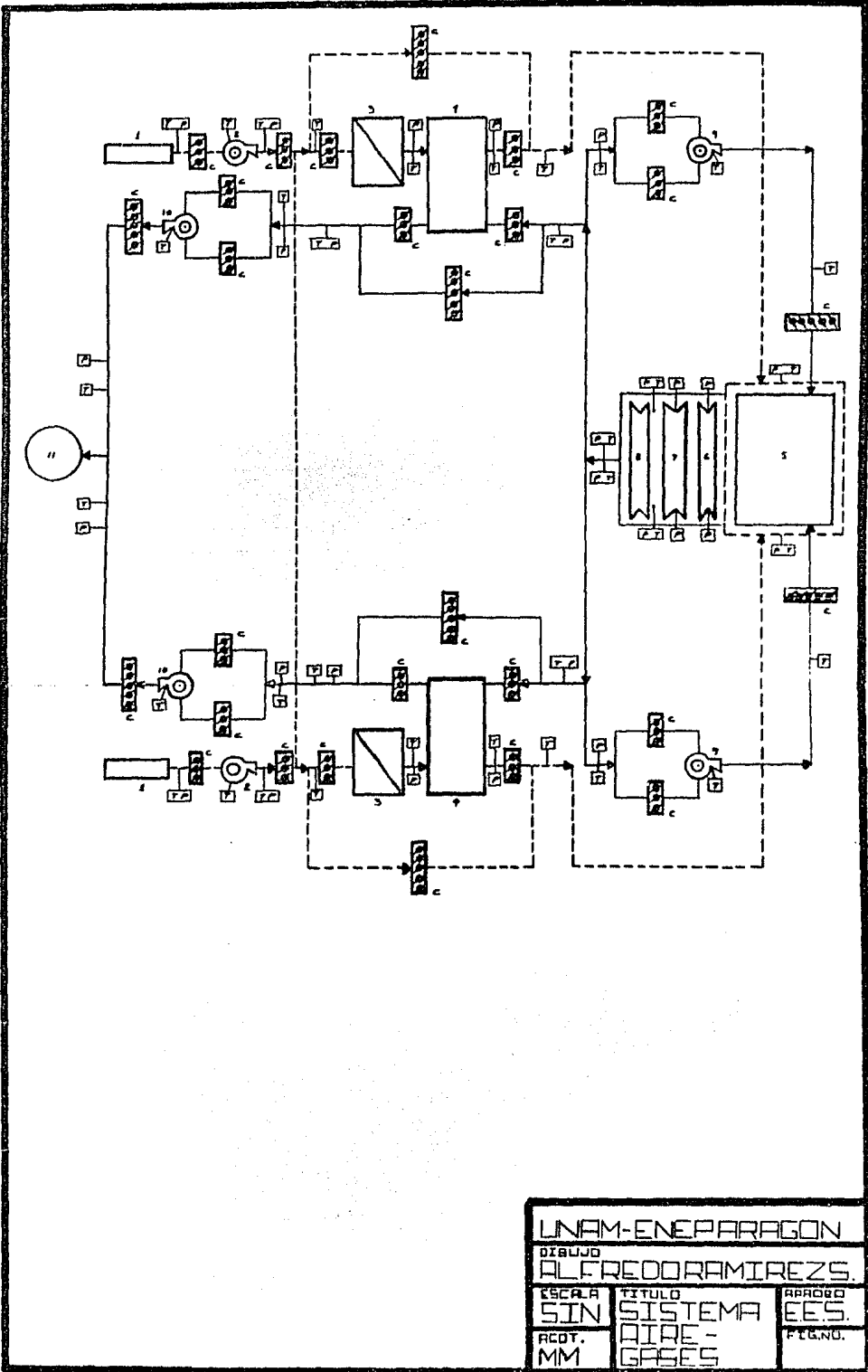
† Solo en unidades de circulación controlada .

*S i m b o l o g í a*

----- Agua  
 \_\_\_\_\_ Vapor  
 ..... Purga

*Parámetros a controlar durante la operación de los generadores de vapor .*

[P] Presión      [T] Temperatura      [I/N] Indicador de Nivel



UNAM-ENEPARAGON		
DISEÑO		
ALFREODRAMIREZS.		
ESCALA	TÍTULO	PROYECTO
SIN	SISTEMA	E.E.S.
REDT.	AIRE -	FIG. NO.
MM	GASES	

Definiciones del dibujo ( Sistema Aire - Gases ).

- 1.- Silenciador .
  - 2.- Ventilador de tiro forzado .
  - 3.- Calentador de aire a vapor .
  - 4.- Precalentador regenerativo de aire .
  - 5.- Hogar .
  - 6.- Sobrecalentador .
  - 7.- Recalentador .
  - 8.- Economizador .
  - 9.- Ventilador recirculador de gases .
  - 10.- Ventilador de tiro inducido .
  - 11.- Chimenea .
- C) Compuertas .

Simbología

----- Aire

————— Aire - Gases

Parámetros a controlar durante la operación de los generadores de vapor .

Presión       Temperatura      Indicadores de tiro

Análisis de combustible y de productos de combustión

Excessos de aire



**CAPITULO NO. 4**

**PROBLEMAS Y SOLUCIONES DURANTE  
LA OPERACION DE LOS  
GENERADORES DE VAPOR .**

## C A P Í T U L O 4

### PROBLEMAS Y SOLUCIONES DURANTE LA OPERACION DE LOS GENERADORES DE VAPOR .

#### 4.1) Generalidades

Debido a que es imposible eliminar completamente los problemas que se presentan durante la operación de los generadores de vapor, en el presente capítulo se señalarán los más comunes y se mencionará como una especie de guía algunos soluciones para corregirlos o en su defecto prevenirlos .

Consideraremos que existe algún problema en los equipos generadores de vapor o en parte de él, cuando se presenten cualquiera de las condiciones siguientes :

- a) Cuando el equipo se vuelve completamente inoperable .
- b) Cuando el equipo todavía es operable, pero no cumple satisfactoriamente o de manera eficiente con la función para la cual se diseñó .
- c) Cuando el equipo ha sufrido algún deterioro que hace inseguro y/o peligroso - su uso continuado, necesitando reparación o reemplazo inmediato .

Se puede decir que todo problema tiene sus causas específicas y que para solucionarlo, en primer lugar debemos conocer con precisión aquéllas que lo originaron, a partir de la identificación de las causas que provocaron el problema, se deberán iniciar y adoptar las medidas necesarias que tiendan a evitar los problemas similares en el futuro .

Los problemas sean repetitivos o no, presuponen una salida no programada de - los equipos, la cual tiene graves repercusiones, tanto técnicas como económicas .

De todo esto se desprende la importancia de evitar al máximo posible que éstos se presenten, lo cual se puede lograr mediante el estudio, identificación y clasificación de las causas que los provocan .

Una clasificación muy generalista de las causas que provocan los problemas es:

A) Causadas por defectos de diseño .- tienen su origen como su nombre lo dice a un diseño parcial o totalmente equivocado, debido a que no se estudiaron, calcularon y seleccionaron los parámetros, métodos, procedimientos y materiales adecuados a las condiciones requeridas .

B) Causadas por defectos de fabricación .- estas se deben sobretudo a que tal - vez no fueron supervisados con la atención debida durante la fabricación, procedimientos tales como soldadura, tratamientos térmicos, acabados, etc., trayendo como consecuencia que probablemente se presenten fallas durante el funcionamiento .

to de los equipos, una vez que éstos estén terminados y se encuentren en operación.

C) Causadas por operación inadecuada.- los problemas debidos a este motivo, no pueden tener otros orígenes más que el descuido, negligencia o desconocimiento - por parte del personal humano que opera los equipos.

#### 4.2) Principales Problemas y Algunas Soluciones Para Prevenirlos.

Una clasificación más detallada de los problemas que se pueden presentar en la operación de los generadores de vapor es la siguiente :

4.2.1) Incrustación interna .

4.2.2) Contaminación de agua de caldera y vapor .

4.2.3) Combustión inadecuada .

4.2.4) Diferencia de temperatura entre agua y metal .

4.2.5) Corrosión lado del agua .

4.2.6) Corrosión lado del fuego .

A continuación detallamos cada uno de los puntos mencionados .

##### 4.2.1) Incrustación interna

La incrustación es un depósito en solución, formado directamente sobre una superficie, que puede o no adherirse a la misma y que es usualmente cristalina y densa, frecuentemente con estructura laminar pero que también puede ser columnar.

A pesar de la buena calidad del tratamiento de agua de alimentación y de re-puesto de los sistemas precaldora y caldera, se introducen a ésta contaminantes de bajas concentraciones, que a lo largo de miles de horas de operación forman una incrustación compuesta básicamente por óxidos de cobre y de hierro (no se descartan los de calcio y magnesio, bromo y níquel, etc.), tanto en los tubos de economizadores, paredes, sobrecalentadores y recalentadores .

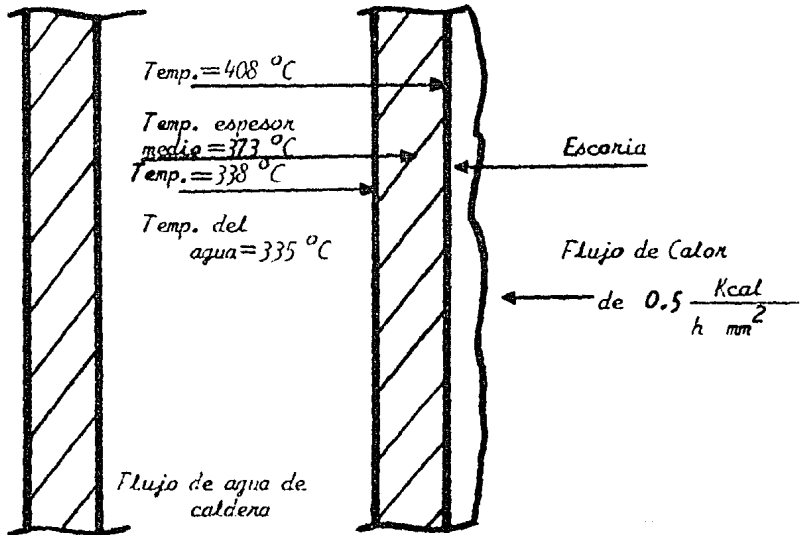
Las formas como afecta esta incrustación son :

A) Aumento de temperatura.- por ser mala transmisora del calor, interfiere con la transferencia de éste y entonces para lograr la misma carga térmica se requiere que el tubo aumente su temperatura .

En la fig. A, se puede observar que cuando el tubo está limpio su temperatura en la capa media es de 373°C. El coeficiente de trabajo es tal que se requiere -

Fig. A

Modelo excerto de Incrustación  
Interna (no causa fallas)

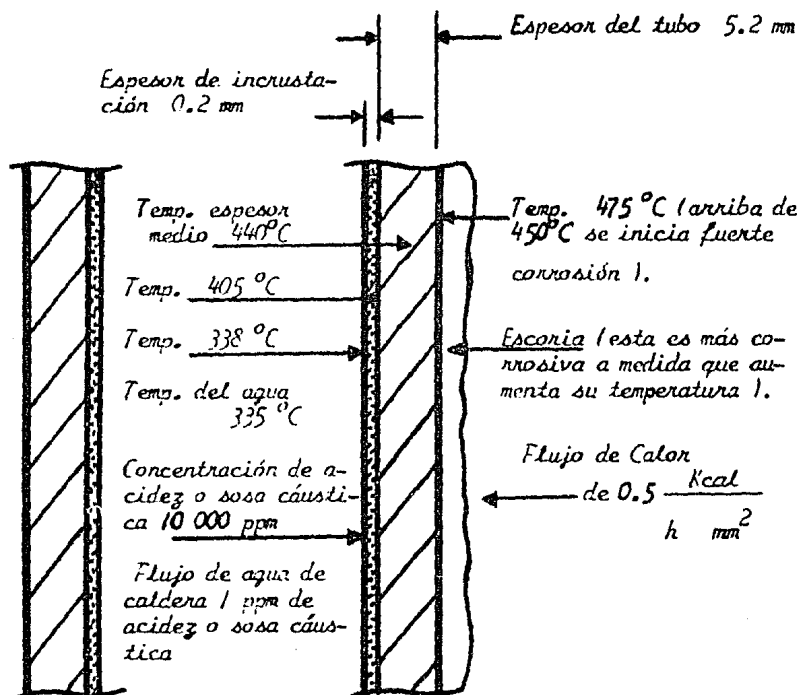


Si el tubo no tuviera incrustación interna, entonces :

- a).- El coeficiente de trabajo del tubo, le permite una duración de 1 000 000 horas .
- b).- La corrosión de la escoria sería mínima .

Fig. B

Modelo de falla de tubos



Si el tubo tuviera incrustación interna, tal que la temperatura de la pared media fuese de 440 °C, entonces :

- El coeficiente de trabajo le permite una duración de 6300 horas .
- La acidez que provoca una fuga en el condensador se concentra en la superficie interna del tubo, atacándola, reduciendo su resistencia permanentemente o causando la falla en cuestión de horas (ésto no sucede en tubos que transportan vapor).
- La temperatura de la cara externa, calienta las cenizas, con lo que se acelera su corrosividad .

1 200 000 horas para que se produzca una deformación de  $\frac{2}{3}$ ; mientras que la escoria tiene un efecto corrosivo mínimo. En la figura B se observa un tubo con 0.2 mm (200 micros) en donde la temperatura media del tubo es de  $440^{\circ}\text{C}$ , por lo que el coeficiente de trabajo se reduce para permitir 6 300 horas para alcanzar una deformación del  $\frac{2}{3}$ , ver figura C, las sustancias depositadas en la interfase incrustación - tubo aumentan su velocidad de corrosión, lo mismo sucede con las cenizas depositadas en la superficie externa, acelerando la falla del tubo; para evitar ésto consúltese datos de tabla D.

B) Concentración de contaminantes .- en los tubos hervidores es donde se evapora el agua de caldera, concentrándose ahí las sales que contiene, las que se difunden debido a la turbulencia del movimiento agua - vapor. Cuando hay incrustación, las sales quedan atrapadas y además no hay difusión, por lo que se concentra y aumenta la corrosión normal. Este proceso es más enérgico cuando el agua de caldera está contaminada con ácido clorhídrico (producido por la hidrólisis - en la caldera de los cloruros de calcio y magnesio fugados en el condensador); - su corrosión puede ser más enérgica con respecto a la tenida en las condiciones normales, ver figura E; en otras palabras, en pocos meses podría quedar 100% de teneronada una caldera. Otro contaminante que acelera la corrosión debido al mecanismo citado, es la presencia de sosa cáustica, pues puede concentrarse en la interfase incrustación - tubo, igual que el ácido clorhídrico hasta en 10 000 veces la concentración que se tiene en el seno del agua de caldera.

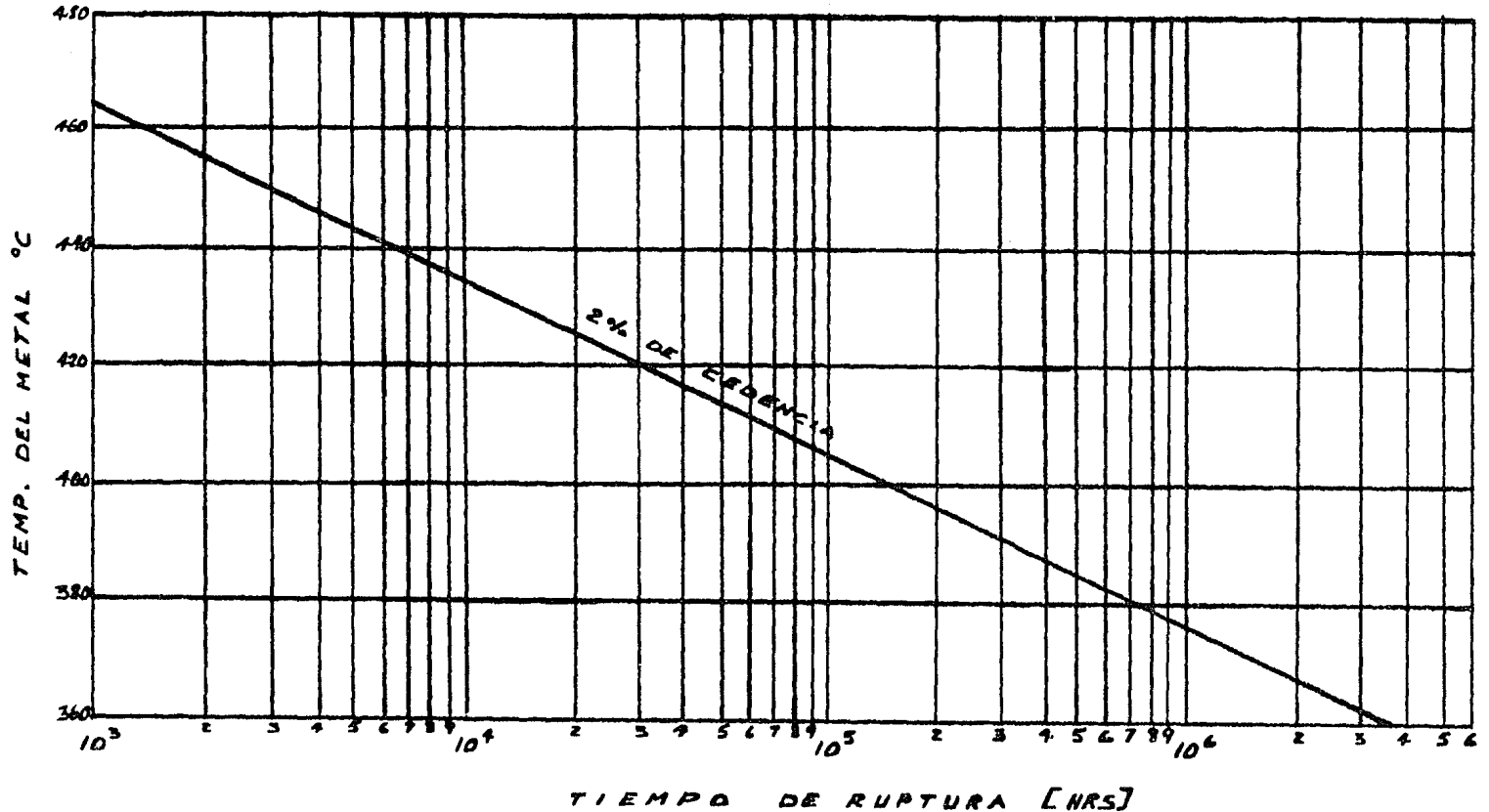
C) Reducción de flujo .- si la incrustación es muy gruesa, puede reducir el flujo y provocar una falla, así mismo si no se revisan oportunamente los cabezales inferiores de las calderas, se puede acumular tal cantidad de fango que aceleran las fallas de tubos de pared. Por todo lo visto se ha encontrado que las fallas debidas a incrustaciones aportan hasta el 50% de las fallas de tubos.

#### 4.2.1.1) S o l u c i ó n

a) Lavados internos .- para eliminar las incrustaciones internas, se recomienda hacer lavados ácidos del economizador, paredes de agua, recalentador y sobrecalentador con la debida frecuencia. Se recomienda que éstos se realicen cada 20 000 a 25 000 horas de operación, o cuando la incrustación es de 15 a 40 miligramos por  $\text{cm}^2$  para los tubos que transportan agua, y para los recalentadores y sobrecalentadores se recomienda hacerlos cada 5 años.

Fig. C

Vida del tubo SA 210 contra temperatura



T A B L A D

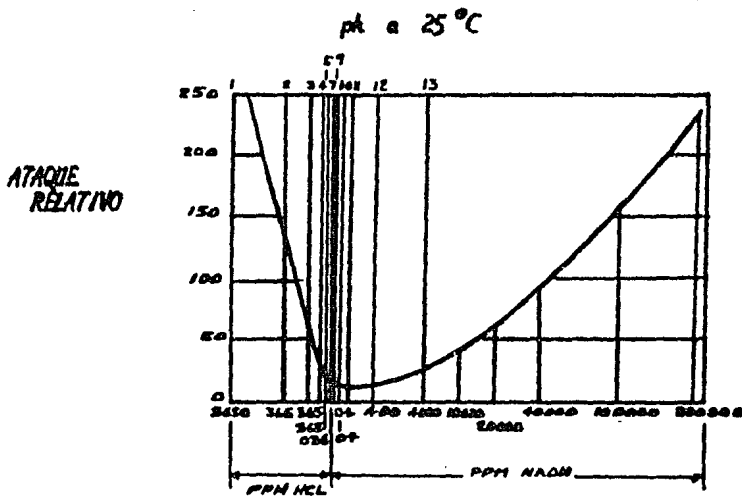
TEMPERATURA MAXIMA DE PROTECCION A LA OXIDACION DE LOS MATERIALES

MATERIAL	ESPECIFICACION ASME	TEMPERATURA MAXIMA °C	USO
Ac. al carbón	SA 192, SA 210	454	Paredes, economizador sobrecalentadores y recalentadores de baja temperatura .
Ac. al carbón, 1/2 Mo.	SA 213 T 1	482	Sobrecalentador de baja temperatura .
1.25 Cr.-1/2 Mo.	SA 213 T 11	552	Sobrecalentador, recalentador .
2.25 Cr.-1 Mo.	SA 213 T 22	579	Sobrecalentador, recalentador .
9 Cr.-1 Mo.	SA 213 T 9	635	Recalentador de alta temperatura .
8 Ni.-18 Cr.	SA 213 304 H	704	Recalentador de alta temperatura .
10 Ni.-18 Cr.	SA 213 347 H	704	Sobrecalentador de alta temperatura .



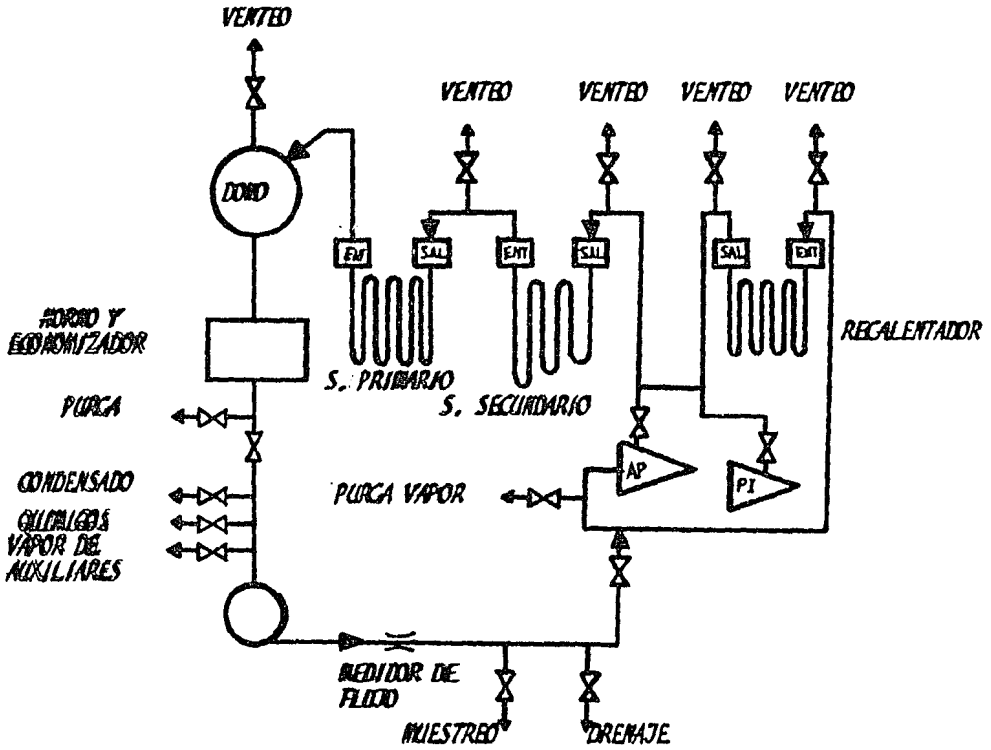
Fig. E

Corrosión del acero en función del pH



ATAQUE DEL ACERO A 310°C A DIFERENTES  
Acidaces y Alcalinidades

Fig. F



Circuito de Limpieza química para caldera del tipo tambor.

Las calderas se deben lavar anualmente usando productos ácidos a bajas concentraciones, ésto permitirá mantener la temperatura de los tubos lo más cercano posible al valor del diseño, con lo que se logra dar mayor vida con el mínimo de fallas (cuando éstas son originadas por la incrustación).

Se recomienda que los tubos drenables del sobrecalentador y recalentador se inunden y drenen con agua destilada cada año, para eliminar las sales solubles.

La figura F muestra el circuito que puede ser utilizado para el lavado ácido del recalentador y sobrecalentador de la caldera.

b) Prevención de las incrustaciones .- se puede reducir la velocidad de formación de la incrustación mediante :

- b.1) Pulidores de condensado .
- b.2) Reducción de fugas del condensador .
- b.3) Eliminando arrastres de agua en el vapor .
- b.4) No atemperar con agua contaminada .

#### 4.2.2) Contaminación de agua de caldera y vapor

Si existen fugas en la planta desmineralizadora o en el condensador y éstas llegan a la caldera, se tendrán sustancias indeseables que corroerán e incrustarán los tubos de caldera, acelerando su falla. Por otro lado, si se atemperan los recalentadores y sobrecalentadores con dicha agua, también saldrán afectados.

Este problema también puede ser provocado por los arrastres de agua de caldera debido a fallas en el control de nivel, rechazos o disparos de la unidad.

El efecto contaminante produce corrosión e incrustación.

#### 4.2.2.1) Solución

La medida a tomar para controlar este tipo de problemas es evitando que existan fugas en el condensador, lo cual puede lograrse mediante :

- a) Taproge de bolas .- el taproge de bolas barre los sólidos que se depositan a lo largo del tubo y con ésto se logra evitar que se formen celdas de corrosión bajo depósitos, que es la principal causa de falla.
- b) Evitar sólidos en suspensión .- los sólidos con tamaño mayor de 250 micras, - causan celdas de corrosión, por tal motivo es conveniente instalar filtros de lavado automático, que eliminen sólidos en suspensión.
- c) Automatizar dosificación de químicos .- se recomienda que todas las torres de enfriamiento tengan equipo automático para dosificar todas y cada una de las sus

tancias químicas utilizadas, con éllo se logrará un mejor control de la calidad del agua .

d) Control de amoníaco .- si la concentración de amoníaco es alta (más de 0.5ppm en el condensado ), hay la posibilidad de que ataque los tubos del condensador - que generalmente son aleaciones de cobre . Para reducir este problema se recomienda usar una mezcla de amina neutralizante y filmica a un ph de 8,6, con éso se evita la corrosión del sistema precaldera y la concentración de amoníaco .

e) Control de fugas .- si por alguna circunstancia se tuvieron fugas en el condensador, se recomienda :

e.1) Instalar pulidores .- los pulidores de condensado, están instalados a la - descarga de la bomba de extracción y tienen como función eliminar los sólidos en disolución y suspensión, para que no afecten a la caldera .

e.2) Conductímetros en cada caja de condensador .- por medio de un aparato de éstos se puede detectar en que caja hay fuga para aplicar las medidas correctivas lo más rápido posible .

e.3) Detector de sodio .- debido a su sensibilidad, el detector de sodio, descubre fugas que pasarían desapercibidas para los conductímetros . Cuando ésto sucede, se baja carga para que no contamine el agua de atemperación y al condensador se inyecta oserrín para que selle la fuga .

e.4) Dosificadores de alta capacidad .- normalmente las bombas dosificadoras de sustancias químicas de la caldera son de baja capacidad, se recomienda cambiarlas por otras de mayor (alrededor de 60Lts. por hora) para que se inyecten con rapidez las sustancias convenientes que atenuen el efecto de alguna contaminación .

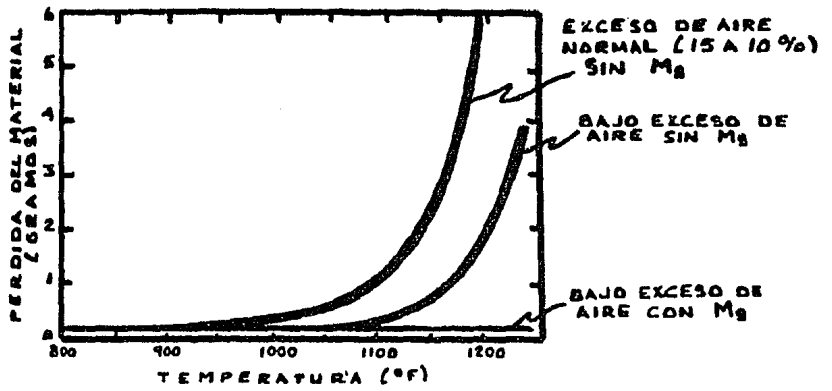
e.5) No sostener fugas .- es conveniente que la fuga del condensador se repare - con la mayor rapidez, de lo contrario ésto será recurrente .

e.6) No atemperar .- cuando exista una fuga por ningún motivo deberá atemperarse agua a los sobrecalentadores y recalentadores, con éllo se evita que se inyecten sólidos .

#### 4.2.3) Combustión inadecuada

En algunas ocasiones debido a cambios de carga o sencillamente a un control - inadecuado, es posible y común que al combustóleo le falte oxígeno, por lo que - se producen partículas de carbón que se depositan en los tubos, que están relati vamente fríos; ahí se queman lentamente generando áreas de alta concentración de

Fig. G



*Corrosión del acero en función de la temperatura y del exceso de aire.*

de monóxido de carbono que ataca enérgicamente a los tubos del sobrecalentador y recalentador. Este fenómeno puede causar fallas en cuestión de algún período de tiempo corto; el fenómeno contrario se presenta cuando se operan las calderas — con altos excesos de aire (de 10 a 15%), se aumenta la concentración de trióxido de azufre ( $SO_3$ ) y por ende la velocidad de corrosión en los tubos. Ver fig. G.

#### 4.2.3.1) Solución

Para mantener buen control de combustión, se requiere :

- a) Instrumentación en automático.- se requiere que este equipo trabaje en automático, para que se conserve permanentemente la relación aire - combustible y así evitar la generación de partículas de carbón o altos excesos de aire.
- b) Cambio de piezas desgastadas.- las piezas desgastadas del equipo de combustión, deberán de cambiarse oportunamente antes de que causen problemas; por ejemplo, se recomienda cambiar los hornos cada 4 años, los difusores cada año, etc.

Si algún difusor está en mal estado, deberá ponerse el quemador fuera de servicio aunque se baje carga, y cambiarlo en la primera oportunidad.

- c) Caldera limpia.- es necesario mantener la caldera limpia para que trabaje — con sus relaciones de diseño de aire - combustible ; en algunas Centrales se — acostumbra compensar la suciedad del recalentador y sobrecalentador aumentando — el exceso de aire, para mantener la mayor carga posible, ésto se logra a costa — de una mayor corrosión. Para mantener la caldera limpia se recomienda :

c.1) Craquear sobrecalentador.- se mete agua caliente al sobrecalentador y recalentador a través de los desholllinadores cuando la caldera tiene hasta 40 kilos por  $cm^2$  con fuegos apagados, con ésto las cenizas se estrellan( craquean) soltándose, con lo que se alcanza hasta un 85% de limpieza.

c.2) Inyección de óxido de magnesio.-el uso del óxido de magnesio con el combustible, es otro de los métodos que se aplican para mantener limpia la caldera; éste método es un poco caro en comparación con el método de craqueo, por lo que se recomienda ensayar primero éste último antes de aplicar aquél como último recurso para limpiar la caldera.

#### 4.2.4) Diferencia de temperatura entre agua y metal

Si por alguna circunstancia se excede la diferencia de temperatura entre la película del agua y la del metal, se estará en posibilidad de producir una falla.

Las causas que pueden producir este fenómeno, son básicamente :

A) Falta de flujo de agua .

B) Impacto de flama .

C) Alta densidad de calor .

A) Falta de flujo de agua .- existen varias razones por las que el flujo de agua pueda ser insuficiente :

A.1) Nivel de agua en caldera demasiado bajo .- a medida que la presión de operación aumenta, se hace necesario aumentar el nivel de agua en el domo, en virtud de que la diferencia de densidad entre agua y vapor se reduce, de lo contrario - faltará suficiente diferencial para que los tubos transponen el agua necesaria y tengan una refrigeración adecuada .

A.2) Fugas sostenidas .- los tubos de las paredes de agua son alimentados mediante un cabezal, si uno de aquéllos tiene fuga, reducirá la cantidad de agua a los tubos vecinos y con el tiempo también fallarán . Por lo anterior no es conveniente que la falla de tubo de pared, recalentador y sobrecalentador se sostenga indefinidamente, pues con ésto se agravará el problema .

A.3) Cabezales obstruidos .- otra de las causas por las que el flujo de agua no sea permanente o continuo, es que los cabezales pudieran estar obstruidos por diversos agentes contaminantes, tales como sólidos en suspensión, lodos, etc .

B) Impacto de flama .- si el sistema de combustión está en malas condiciones, se provocará que las flamas impacten en los tubos de pared, lo cual es un problema verdaderamente serio que se debe de evitar .

Las causas principales por las que ésto sucede son :

B.1) Fichas y difusores de quemadores en mal estado .- cuando éstos se encuentran en mal estado, las flamas se alargan y pezan en los tubos opuestos, la mayoría de las veces se debe a que no se cambian oportunamente los difusores principalmente, así como las fichas .

Los difusores por su cercanía con la flama se destruyen rápidamente .

B.2) Mala distribución de aire .- si no se distribuye equitativamente el aire entre todos los quemadores (los que se hayan fuera de servicio requieren refrigeración), se provocará alargamiento de flama .

C) Alta densidad de calor .- se ha demostrado en muchos casos que una alta densidad de calor, trae como consecuencia que existan fallas; éstas se pueden eliminar o reducir bajando la carga térmica .

#### 4.2.4.1) Solución

Mantener adecuada diferencia de temperatura entre agua y metal, se recomienda:

a) No sostener fugas .- ante la presencia de una fuga, lo más acertado es sacar - la unidad fuera de servicio y reparar la fuga, ya que de no hacerse ésto el equipo cobrará con creces la dilatación .

b) Limpieza de cabezales .-hacer una limpieza preventiva de éstos cada 3 ó 4 años o antes si el equipo así lo requiere, para evitar que se presenten fallas en los tubos de pared .

c) Mantener buen control de la combustión de la mezcla aire - gases, procurando - trabajar con el equipo de control combustión automático a lo largo de toda la operación, para conseguir una mejor eficiencia y evitar que se presenten problemas - tales como, formación de depósitos, incrustación y corrosión .

#### 4.2.5) Corrosión

La corrosión es un problema que se presenta en todas las superficies internas y externas de calderas, paredes de agua, recalentadores, sobrecalentadores, etc .

La extensión y razón de deterioro causadas por corrosión, dependerá de la condición de agua de alimentación, tipo y calidad del combustible así como de las - condiciones prevalecientes en el área .

La corrosión puede presentarse en diferentes formas :

A) Corrosión general .- es el resultado de una corrosión continua sobre una área regularmente grande de metal . Se caracteriza por un adelgazamiento del metal - con que esta hecho el tubo, a tal punto que éste no puede soportar la presión interna ejercida por el fluido que atraviesa por él, lo cual puede causar que el - metal se infle y eventualmente se rompa .

B) Corrosión galvánica .- se produce por la corriente de una pila de electrodos diferentes, tales como hierro y cobre o bronce y aluminio . Este tipo de corrosión puede presentarse cuando se unen por soldadura, remachado metales diferentes, o en superficies chapadas o recubiertas o bien en metales o pinturas aplicadas inadvertidamente .

C) Corrosión por picadura (Pitting) .- este tipo de corrosión a diferencia de la corrosión general, se presenta en una superficie mínima del metal, pero penetra profundamente haciendo un hoyo llamado Pit . Si ésta corrosión no se controla, - algunas picaduras pueden ir a través del metal causando fugas, cuando hay muchos



hoyos o pits juntos, pueden asociarse y el efecto en el metal es el mismo que en la corrosión general .

D) Corrosión por rompimiento (Cracking) .- es una forma de corrosión que ocurre a lo largo de una muy estrecha banda del metal; se presenta generalmente en metales con aleaciones tales como acero inoxidable y latones, los cuales son particularmente susceptibles al rompimiento bajo ciertas condiciones .

E) Exfoliación o desaleación .- ambos tipos de corrosión son asociados con la reacción selectiva de solamente uno de los metales en una aleación metálica .

La exfoliación generalmente se presenta en calentadores de agua de alimentación . El nichel es selectivamente oxidado de la aleación cobre - nichel dejando la aleación de la tubería, permaneciendo el metal de cobre y óxido de nichel; - cuando la desaleación ocurre en los latones, el zinc es removido del metal dejando una masa porosa de cobre .

F) Fragilización .- es un efecto de corrosión que cambia las propiedades físicas de un metal . Algunas reacciones de corrosión causan que el metal pierda su fuerza normal y ductilidad y se vuelva quebradizo y débil . La fragilización no puede ser vista inspeccionando un tubo de caldera que no haya fallado, sin embargo un tubo fragilizado que haya fallado tendrá una apariencia cristalina al eje del punto de fractura y regularmente no habrá evidencia de saliente .

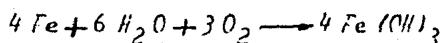
Para que la fragilización ocurra se requiere la presencia de un ión altamente corrosivo (como  $\text{OH}^-$ ), en una área donde el metal ha sufrido alguna falla en su estructura molecular .

#### 4.2.5.1) Depósitos internos y corrosión lado del agua

La fuente principal de los depósitos internos en calderas de alta presión, la representan los productos de corrosión provenientes de los calentadores de agua de alimentación y de los condensadores; éstos productos generalmente son compuestos de calcio y magnesio, así como gases disueltos de nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico principalmente .

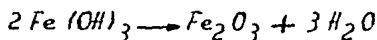
La corrosión y picado de los tubos en calderas así como en líneas de conducción, se debe casi siempre a un bajo pH generalmente ocasionado por la presencia de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ), disuelto en el agua .

La reacción de corrosión por oxígeno disuelto que se lleva a cabo es :



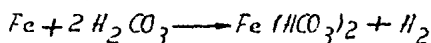
hierro      agua      oxígeno      hidróxido férrico

El hidróxido férrico a su vez reacciona como sigue :



hidróxido      óxido      agua  
férrico      férrico

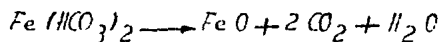
El bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disuelto en el agua, forma el ácido carbónico el cual es un ácido débil que ataca al hierro de la siguiente forma :



hierro      ácido      bicarbonato      hidrógeno  
                 carbónico      de hierro

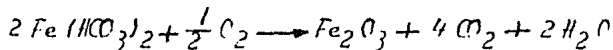
Esta reacción se lleva a cabo rápidamente cuando el ph del agua es más bajo - de 5.9, el bicarbonato de hierro lo eleva hasta dicho valor en donde la reacción se vuelve muy lenta, el hidrógeno formado también tiende a detener la reacción - cuando el ph rebasa dicho valor .

El bicarbonato de hierro es soluble y puede permanecer disuelto en el condensado, sin embargo puede precipitarse cuando hay una caída de presión o se reduce la cantidad de  $\text{CO}_2$  en el vapor, descomponiéndose según la reacción :



bicarbonato      óxido      bióxido      agua  
ferroso      ferroso      de  
   carbono

Cuando el oxígeno está también presente, acelera la corrosión eliminando el - hidrógeno del agua, por lo que el bicarbonato ferroso se precipita de la siguiente manera :



bicarbonato      oxígeno      óxido      bióxido      agua  
ferroso           férrico      de  
   carbono

El bicarbonato ferroso también puede descomponerse en óxido ferroso - férrico ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Magnetita) y en carbonato ferroso ( $\text{FeCO}_3$ ) .

Todos estos depósitos de  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y  $\text{FeCO}_3$  son responsables de

las altas temperaturas que se originan en algunas áreas de la superficie de calefacción, las que a su vez ocasionan fallas en los tubos .

#### 4.2.5.2) Solución

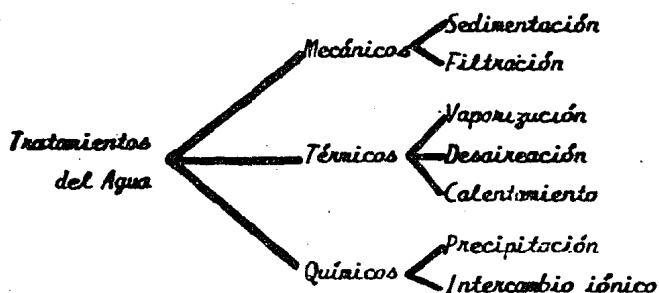
Debido a que las impurezas y gases contaminantes disueltos en el agua, son la causa principal de la formación de incrustaciones, depósitos, corrosión, arrastres en el vapor, así como de fragilización en las superficies internas de calefacción, se hace necesario eliminarlas o reducir su contenido a tal grado que no ocasionen problemas . Todo ésto se puede lograr por medio de un tratamiento del agua de alimentación, así como del agua de reposito .

Básicamente existen dos tipos de tratamiento del agua, estos son :

**Tratamiento externo** .- llamado así porque el agua se acondiciona antes de ser alimentada a la caldera .

**Tratamiento interno** .- consiste en la adición de reactivos químicos al agua que está ya dentro de la caldera para evitar la agresividad de los componentes que no se eliminaron en el tratamiento externo, o los que se formaron debido a las altas temperaturas de operación .

Una forma más detallada de los tratamientos del agua, es la siguiente :



No todos los tratamientos son llevados a cabo de la misma manera, pues unos son continuos y otros intermitentes. además de que cada caso debe considerarse individualmente y seleccionarse el tratamiento más adecuado y económico .

A continuación se explican algunos de ellos así como el equipo que utilizan durante el proceso .

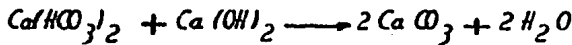
**Tratamiento por precipitación** .- puede ser en frío o en caliente, en éste último se acelera la precipitación de las sustancias disueltas, se obtienen aguas más -

blandas y se requieren cantidades más pequeñas de productos químicos y equipos - de dimensiones más reducidas, que tratando las aguas en frío .

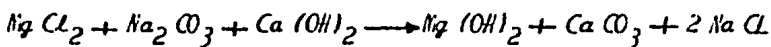
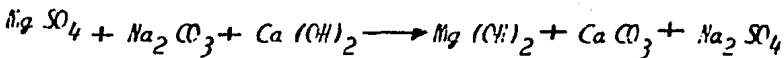
La concentración de sales solubles de calcio y magnesio que constituyen la dureza, se logra reducir convirtiéndolas del estado soluble a un producto insoluble, formando un precipitado que se separa por asentamiento. Las sales de calcio y magnesio pueden estar en dos formas : como sales derivadas del ácido carbónico (bicarbonatos de calcio y magnesio) constituyendo la "dureza de carbonatos", y - como sales derivadas de ácidos minerales (sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio) formando "dureza de no carbonatos".

Mediante la reacción con cal (hidróxido de calcio), se elimina la dureza de - carbonatos formándose precipitados de carbonato de calcio ( $\text{Ca CO}_3$ ) y de hidróxido de magnesio ( $\text{Mg(OH)}_2$ ), también se eliminan los bicarbonatos .

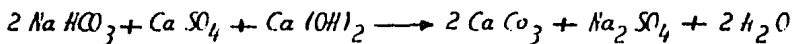
Las reacciones que se llevan a cabo por éste método son :



La dureza de no carbonatos puede eliminarse o reducirse mediante la adición - de carbonato de sodio, formando un precipitado de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio, de acuerdo con las siguientes reacciones :



Cuando el agua tiene elevada alcalinidad combinada en forma de sales de sodio, puede reducirse mediante la adición de yeso (sulfato de calcio):



Para ayudar al asentamiento de los precipitados, se emplea una sustancia llamada coagulante que reacciona con la alcalinidad existente formando un hidróxido en forma de grumos que atrapa los precipitados la materia que causa la turbidez y el color, con lo que va aumentando de tamaño y de peso y se asienta en corto -

tiempo. Las sustancias químicas empleadas como coagulantes son: el sulfato de aluminio, el aluminato de sodio, el sulfato ferroso y férrico y el cloruro férrico. Con el tratamiento del agua en estos equipos, se pueden lograr los siguientes objetivos:

Reducción de la dureza de calcio hasta 35 ppm como  $\text{CaCO}_3$ .

Reducción de la dureza de magnesio hasta cualquier valor deseado.

Reducción de la alcalinidad total hasta 35 ppm como  $\text{CaCO}_3$ .

Reducción de los sólidos totales disueltos en proporción igual a la reducción de la alcalinidad y de la dureza de carbonatos.

Eliminación total de dióxido de carbono.

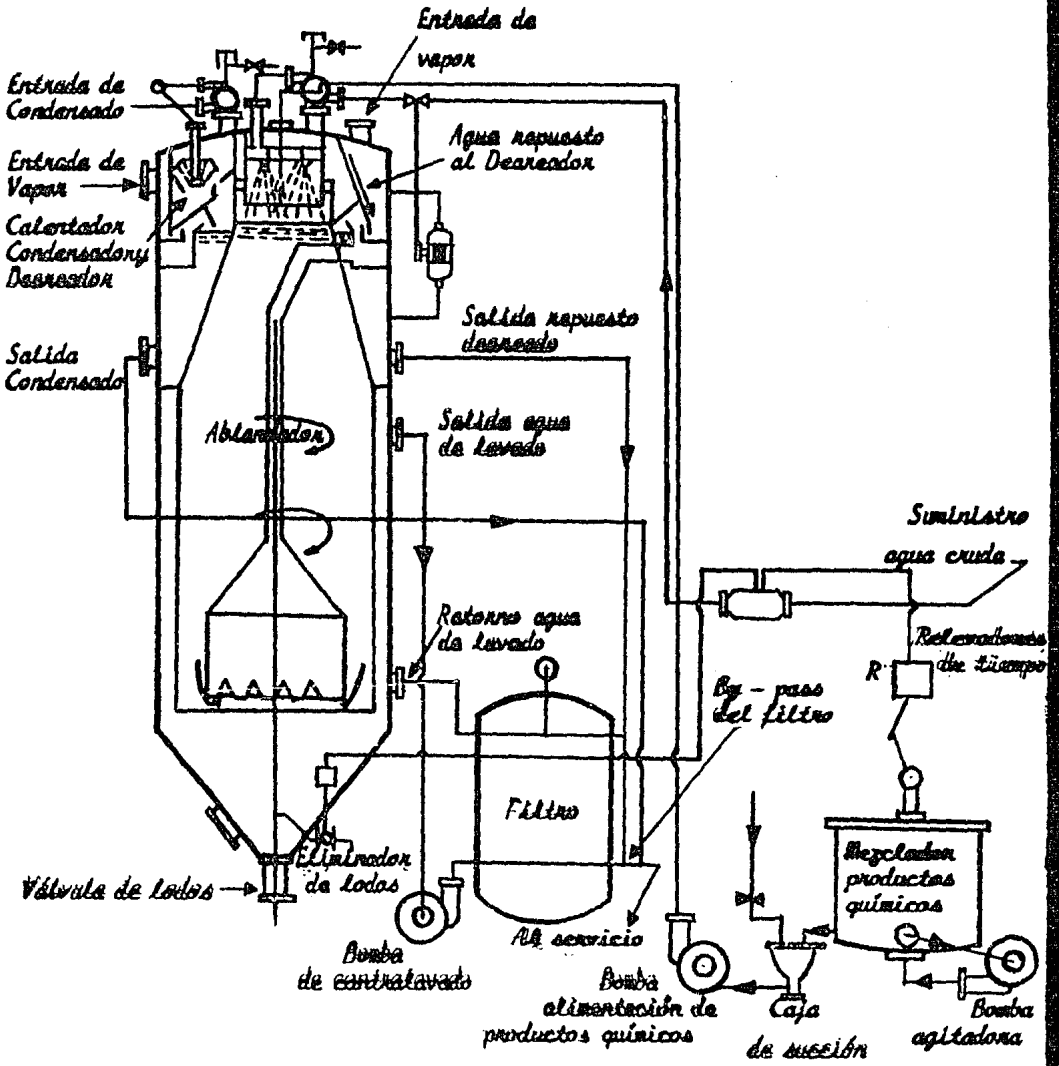
En los equipos de cal - carbonato en caliente los equipos operan con las mismas sustancias precipitadoras empleadas en los equipos de cal en frío, es decir, la cal, el carbonato de sodio y el yeso, la única diferencia es que las reacciones tienen lugar a una temperatura próxima a la de ebullición del agua, con lo que se reduce aún más la dureza en vista de que el carbonato de calcio tiene menor solubilidad a mayor temperatura.

Puede emplearse como coagulante el óxido de magnesio, que además reduce la sílice hasta valores tan bajos como 1 ppm, por la formación de un silicato de magnesio insoluble; el agua que se obtiene en estos equipos es semejante a la obtenida con los equipos en frío con excepción de que también se reduce la sílice y que la dureza de calcio puede bajar hasta unas 17 ppm.

La figura II representa una instalación para el tratamiento en caliente con cal - carbonato. La solución química se saca de un depósito y en proporciones apropiadas se mezcla con el agua cruda a medida que entra en el aparato rectificador por su parte alta, desde donde se distribuye y mezcla con vapor a baja presión, el cual ocupa la porción superior de la envolvente y calienta el agua por contacto directo con ella. El agua se desplaza en sentido descendente y los precipitados se depositan en el fondo del aparato rectificador y se sacan por un orificio para este fin. El agua así purificada sale por un nivel más alto que el alcanzado por el todo, y normalmente se hace pasar a través de un filtro, de donde alimenta suavizadores de zeolita, evaporadores o directamente calderas.

Los lodos se purgan mediante una válvula instalada en el vértice del cono donde se acumulan.

Fig. #



Instalación para el tratamiento de agua en caliente con cal = carbonato.

*Tratamiento por intercambio iónico .-* se lleva a cabo en algunos procesos y consiste en la permutación de iones entre dos sustancias con carga diferente .

*Algunos de los procesos que se incluyen dentro del intercambio iónico, son:*

*A) Suavizadores de Zeolita .*

*Este sistema consiste en la eliminación de la dureza total mediante un intercambio de iones, aprovechando la propiedad de ciertos materiales naturales o sintéticos de ceder iones de sodio al ponerse en contacto con soluciones acuosas - que contengan iones de calcio o de magnesio reteniéndolos o sacándolos de solución . Los materiales naturales se conocen con el nombre de "zeolitas" y por extensión a los materiales sintéticos se les da el nombre de "zeolitas sintéticas".*

*Cuando estos materiales no tienen más iones para intercambiar, es decir, cuando su capacidad se agota, se pone en contacto el material con soluciones concentradas de cloruro de sodio, con lo que los iones de sodio se fijan y se liberan los iones de calcio y de magnesio los que se eliminan con el agua de enjuague - que se tira al drenaje .*

*La dureza del agua se puede reducir de esta forma hasta de 2 a 4 ppm, el contenido de sodio se aumenta en una cantidad equivalente a la dureza eliminada .*

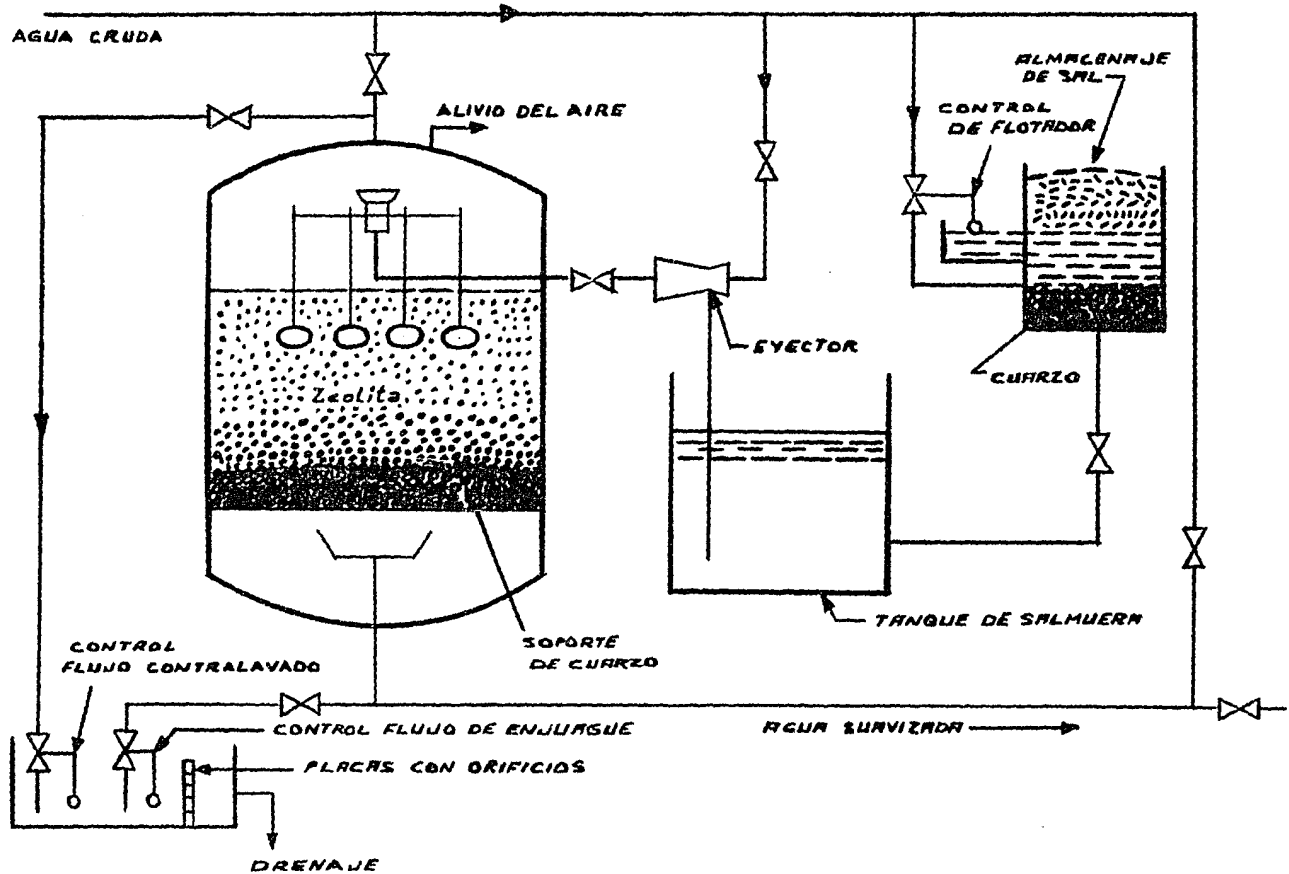
*Entre las zeolitas naturales tenemos las de sílice - aluminatos de sodio, así como ciertas arenas; entre las sintéticas se cuentan las de carbón sulfonado y - las resinas poliestirénicas .*

*Constantemente se están haciendo investigaciones para obtener resinas de mayor poder de intercambio y más resistentes a la acción mecánica, a cambios de - temperatura, humedad, pH y agentes químicos .*

*La figura 1 muestra una vista en corte de un rectificador de agua a base de - zeolita y corriente descendente . El agua entra por un distribuidor de tubos situado en la parte alta del aparato, la circulación es de arriba hacia abajo a través de un lecho de zeolita y de granulos de cuarzo de tamaño creciente, los cuales sirven de soporte al medio cambiador de iones . Este lecho de zeolita sirve para quitar las materias mantenidas en suspensión en el agua, si bien no es ésto su misión, ya que dichas materias deben quitarse del agua antes de entrar en el rectificador de zeolita, el agua tratada se saca por el haz de tubos situado en la parte inferior del aparato . Por éste método no se produce precipitación y - por lo tanto, no es necesario filtrar después .*

*Durante su regeneración el lecho de zeolita se lava para quitarle las mate -*

FIG. I CORTE DE UN RECTIFICADOR DE AGUA A BASE DE ZEOLITA



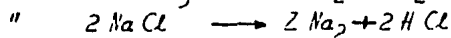
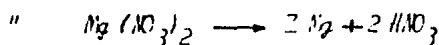
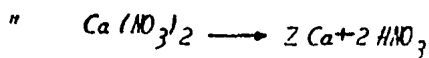
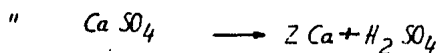
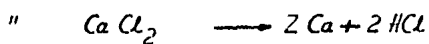
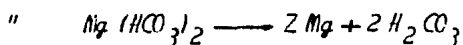
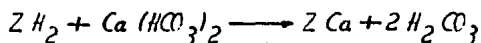


rias sedimentadas en él mediante el agua de lavado, la cual atraviesa el lecho - en sentido contrario al de funcionamiento, quedando de esta forma acondicionado; a continuación la solución de cloruro sódico (Na Cl) procedente del depósito de salmuera se distribuye mediante un inyector o bomba sobre la zeolita, circulando a su través para efectuar el cambio de base. La etapa final de la regeneración consiste en el enjuague con agua para quitar el exceso de sal junto con los cloruros de calcio y magnesio formados.

### B) Desmineralizadores.

En la desmineralización o desionización como su nombre lo indica, se eliminan todas las sustancias minerales disueltas en el agua mediante el intercambio iónico. La unidad cationica regenerada con un ácido que puede ser sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) o clorhídrico (HCl) tiene iones hidrógeno ( $H^+$ ) disponibles para intercambiarlos por los cationes de calcio, magnesio y sodio del agua formándose los respectivos ácidos de los aniones presentes, éstos son el ácido clorhídrico, sulfúrico, nítrico y carbónico.

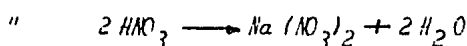
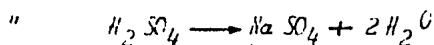
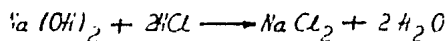
Las reacciones que se llevan a cabo son:



donde  $Z = SO_4$

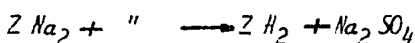
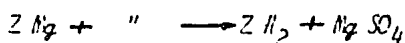
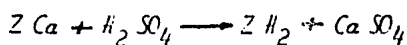
El ácido carbónico que se descompone en agua ( $H_2O$ ) y gas carbónico ( $CO_2$ ), se elimina por aereación en una torre descarbonatadora o desgasificando el agua al vacío. Los ácidos restantes constituyen la acidez mineral libre, los cuales se retienen al pasar por la unidad aniónica, ésta se regenera con una solución de hidróxido de sodio llamada comúnmente sosa caústica ( $NaOH$ ).

Las reacciones que se producen son las siguientes:

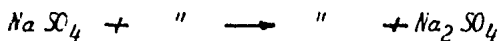
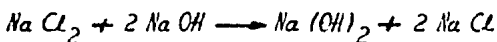


Las reacciones que se producen durante la regeneración son:

Para la resina catiónica:



Para la resina aniónica:



Las resinas aniónicas pueden eliminar también la sílice que quedó al pasar el agua por la unidad catiónica, así como el bióxido de carbono ( $CO_2$ ), a estas resinas se les denomina fuertemente básicas. Aquellas resinas que no son aptas para eliminar la sílice ni el gas carbónico, se les denomina débilmente básicas, éstas también pueden regenerarse con carbonato de sodio. Dentro de las resinas fuertemente básicas las hay del tipo I, que son más resistentes a la acción de agentes oxidantes, su vida es más larga y su capacidad es de 10 a 14 kilogramos por pie<sup>3</sup>, y las del tipo II, éstas tienen mayor capacidad (entre 12 y 17 kilogramos por pie<sup>3</sup>), son más eficientes, pero más susceptibles al ataque y su capacidad disminuye más pronto. En la actualidad se usa con frecuencia mayor la resina de éste último tipo, por su mayor estabilidad.

El equipo empleado en la desmineralización del agua consiste normalmente de -

una unidad catiónica, un desgasificador y una unidad aniónica .

Los tanques para recibir las resinas catiónicas y aniónicas están constituidos de un cilindro vertical de acero con tapas abombadas, recubiertos interiormente por una capa de hule de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{4}$  mm de espesor, que tiene por objeto evitar el ataque al metal de los ácidos de regeneración y los que se forman en las reacciones . Los dispositivos interiores, colector superior, distribuidor del regenerante y distribuidor inferior son de hule duro, de fierro recubierto de hule o plástico como el cloruro de polivinilo (P.V.C.) o de aceros inoxidables .

Cubriendo el distribuidor inferior se colocan capas estratificadas de antracita que sirven para soportar la resina y para evitar que ésta se arrastre a través del distribuidor, aunque la tendencia actual es la de poner a los distribuidores inferiores una camisa de malla fina de tela de plástico o de acero inoxidable para evitar el arrastre de la resina .

El espacio libre del lecho de resina en las unidades, es de 33% a 75% en las catiónicas y de un 100% en las aniónicas . La resina aniónica es de menor densidad por lo que el volumen de expansión es mayor durante el retrolavado .

Las válvulas son del tipo de diafragma recubiertas interiormente de hule y la tubería de interconexión para entrada y salida del agua es de P.V.C.; en la tapa del tanque existe un registro para la introducción de la antracita y la resina .

Las válvulas de diafragma pueden substituirse por una válvula múltiple recubierta de hule, para realizar las operaciones de retrolavado, enjuague y operación normal .

El equipo de regeneración de la unidad catiónica , cuando la regeneración se hace con ácido sulfúrico consiste generalmente de 2 tanques, uno de lámina de acero y sin protección, cerrado que sirve para medir el ácido concentrado necesario para cada regeneración, este tanque se coloca sobre otro tanque sin tapa que esta forrado de hule duro o de lámina de plomo en el que se hace la dilución del ácido a una concentración del 20% . En el fondo del tanque se encuentra un serpentín de plomo o de P.V.C., que está perforado y que sirve para agitar el ácido durante la dilución, mediante aire a presión que se introduce por el serpentín .

De este tanque se succiona el ácido diluido por un eyector que lo introduce a la unidad catiónica, donde entra a una concentración del 2 al 4% por efecto de la dilución que se efectúa en el eyector .

El ácido concentrado se introduce al tanque de medición por la acción de otro eyector cuya succión está conectada a la parte superior del tanque y efectúa un vacío parcial, succionándose el ácido mediante una manguera que conectada al tanque llega hasta el zarrafón en que se encuentra el ácido .

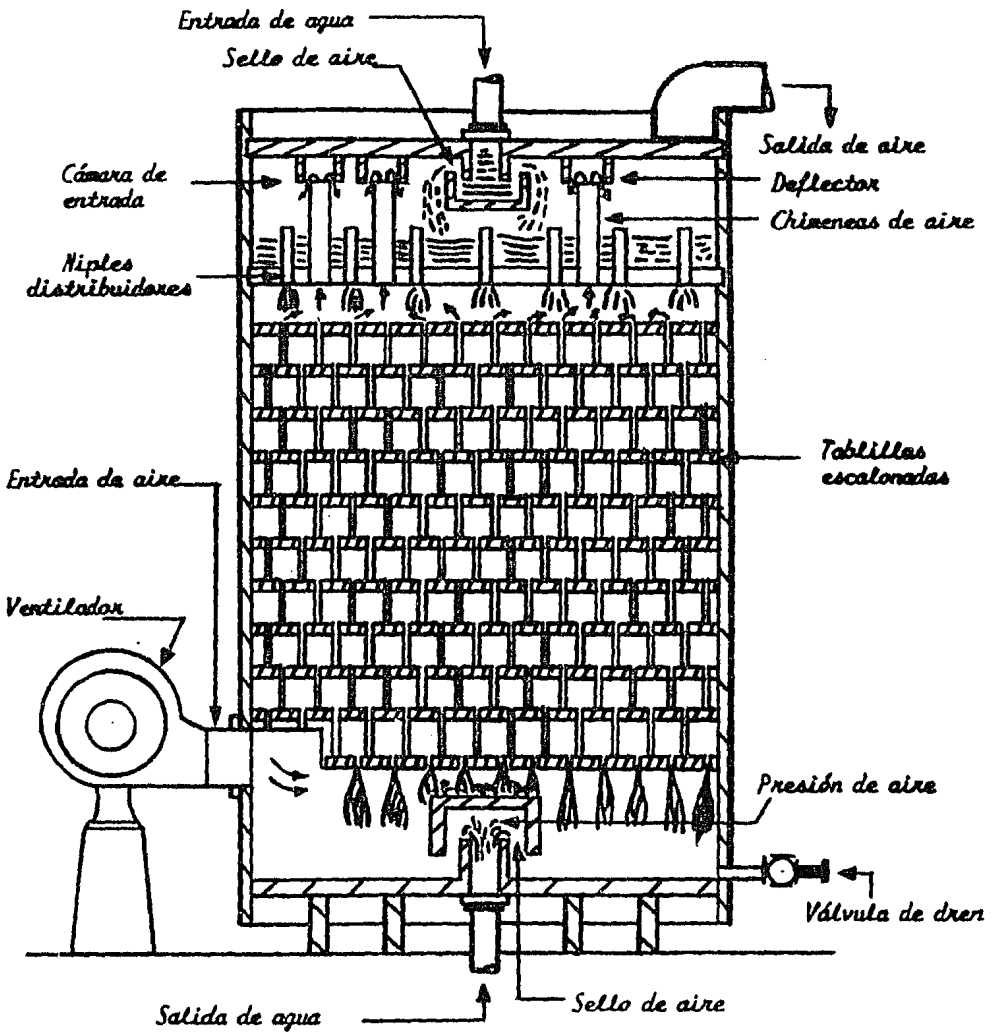
El equipo de regeneración de la unidad aniónica consiste de un tanque de acero sin recubrimiento, en donde se hace la solución de la sosa cáustica, provisto de un agitador mecánico portátil movido con motor eléctrico, la inyección de la sosa se hace en algunas ocasiones en caliente, para lo cual se cuenta con un cambiador de calor que eleva la temperatura de la solución a  $38^{\circ}\text{C}$ , con vapor, antes de introducir a la unidad; la succión del regenerante se efectúa con un eyector que diluye la sosa hasta el 4% . El flujo de agua de lavado y enjuagado se controla con medidores de gasto o con flotadores instalados en las líneas de descarga, la altura de los flotadores en una fosa con derrame controla la apertura de las válvulas de mariposa .

El desgasificador consiste de una torre construida de madera o de lámina de acero con recubrimiento interior de hule, su altura varía desde 8' hasta 20', con diámetro desde 76 cms hasta 6 mts, en su interior lleva unas tirillas de madera sobrepuestas, o bien está rellena de pequeños tubos de cerámica llamados anillos de Raschig . La figura J se muestra el corte de un desgasificador .

El agua que sale de la unidad catiónica se lleva por la tubería de salida a la parte superior del descarbonatador donde entra a través de un distribuidor de charola con perforaciones, para distribuir el agua y con tubos para la salida del aire . El agua descende a través de las tirillas de madera en forma de cascada, cae de las orillas de una tirilla se deposita al centro de la que está inmediatamente abajo, en el fondo de la torre el agua aereada y desgasificada fluye a través de un sello de agua y un recipiente de almacenamiento .

El aire se suministra a través de la parte inferior de la torre, por medio de un ventilador con dirección ascendente del aire, a contracorriente con el flujo de agua . La parte superior de la torre tiene varios tubos en forma de chimeneas con mamparas por donde descargan el aire y el  $\text{CO}_2$  eliminados del agua, de donde pasa a una cámara de aire encima de la charola de distribución y de ahí sale a la atmósfera por un ducto .

Fig. 3



Corte de un desgasificador .

*Tratamiento del agua por deaeración* .- ciertos gases principalmente el oxígeno el bióxido de carbono y el amoníaco, se encuentran disueltos en el agua de repuesto a calderas y en el condensado, acelerando sus propiedades corrosivas en proporción a la cantidad disueltos, por lo que se hace indispensable la disminución de la concentración de estos gases hacia los valores más bajos posibles, principalmente el oxígeno que es el más agresivo. Esto se consigue mediante la deaeración mecánica, por medio de aparatos denominados deaeradores, los que se clasifican en :

#### A) Calentadores Abiertos

Los calentadores de este tipo reducen el oxígeno disuelto del agua hasta en 0.03 ml por litro; el calentamiento del agua se efectúa pasándola en sentido descendente a través de charolas contenidas en un tanque de acero o por pulverización del agua dentro del calentador. El calentamiento se efectúa con vapor de baja o media presión. En vista de que la solubilidad del oxígeno y de los otros gases contenidos en el agua se reduce enormemente por el calentamiento, éstos se liberan del agua y se escapan a la atmósfera.

El vapor de agua y los gases pasan a través de un condensador para recuperar el vapor condensado y reducir las pérdidas de calor. El agua deaerada se colecta en la parte inferior del tanque de donde es bombeada.

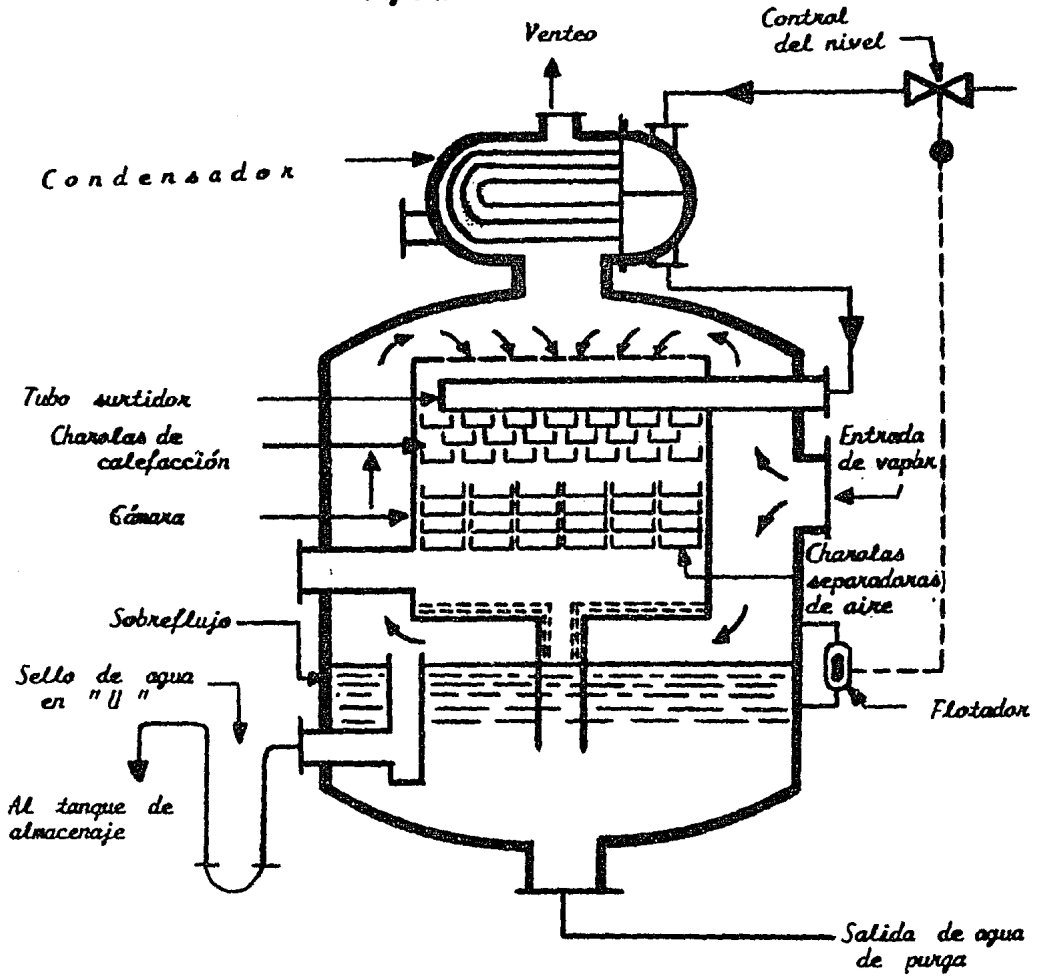
#### B) Calentadores Deaeradores

Estos equipos llamados también únicamente deaeradores, son similares a los calentadores abiertos pero diseñados para eliminar casi totalmente el oxígeno (0.005 ml por litro) y reducir a valores muy bajos el  $CO_2$  y demás gases disueltos en el agua de alimentación. Los hay del tipo de bandeja y de atomización, la mayor eficiencia de estos deaeradores se consigue al adaptarles suficiente área de deaeración y tiempo de contacto.

#### C) Condensadores deaeradores

En muchas plantas la eliminación de gases no condensables se efectúa en el vapor caliente del condensador principal, este tipo de deaeración es muy conveniente cuando el repuesto es bajo y donde existe además deaeración química; el condensado se vierte a través de una atmósfera de vapor donde se liberan los gases que se expulsan en un eyector de aire. El oxígeno residual en estos condensadores deaeradores llega hasta 0.03 ml por litro. Ver figura 1

Fig. K



Deaerador tipo charola .

#### 4.2.6) Depósitos externos y corrosión losn del fuego .

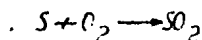
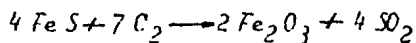
El empleo de combustibles cada vez más degradados y por lo tanto con mayor contenido de cenizas, ha sido contribuyente importante a este tipo de problemas.

Se considera que son cuatro las variables más importantes en la formación de depósitos y corrosión externa :

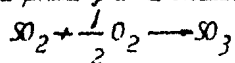
- a) La temperatura del metal y de los gases .
- b) La composición química de las sustancias que entran en contacto con las superficies metálicas y la naturaleza de estas superficies .
- c) Los factores aerodinámicos, tales como las velocidades de gases y partículas así como el tamaño y la consistencia de los depósitos .
- d) Los factores metalúrgicos .

En cuanto a los problemas de corrosión y depósitos se refiere, se considera - que las cenizas producidas pueden representar hasta el 0.2% del combustible, aun que químicamente están formadas por diversos compuestos, se considera que el azufre, vanadio, potasio y sodio son los causantes principales en la mayoría de los casos . De los elementos mencionados anteriormente es el azufre el principal promotor de la corrosión, ya que la produce tanto en las zonas de alta temperatura (recalentadores y sobrecalentadores) por la presencia de sulfatos complejos, como en las zonas de baja temperatura (precalentadores de aire, ductos de aire, - chimeneas) por la condensación del trióxido de azufre ( $SO_3$ ) para formar ácido - sulfúrico . En las reacciones primarias del azufre con oxígeno se forman sus dos principales óxidos, el  $SO_2$  y el  $SO_3$  (bióxido y trióxido de azufre), éstos reaccionan a su vez posteriormente para formar sulfitos, sulfatos, piro-sulfatos y - trisulfatos .

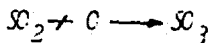
La formación primaria del  $SO_2$  se realiza de la forma siguiente :



La presencia de  $SO_3$  en los gases de combustión es debida principalmente a las reacciones en la flama y a la oxidación del  $SO_2$  :







La oxidación del  $\text{SO}_2$  con oxígeno molecular de acuerdo a la primera reacción - puede ocurrir por dos procesos, una reacción homogénea en fase gaseosa o una reacción heterogénea catalizada sobre superficies activas; la segunda reacción con oxígeno atómico dependerá de la presencia de oxígeno activo, presente sólo en - ciertas circunstancias como en el caso de flama del quemador .

Los demás compuestos (vanadio y sodio) forman muchos otros de bajos puntos de fusión, como los vanadatos y los vanadilvanadatos que pueden encontrarse en forma líquida a las temperaturas de los sobrecalentadores y recalentadores . En la tabla L se indican los puntos de fusión de algunos compuestos de vanadio que tienen relación con el proceso de corrosión.

Se han propuesto tres posibles mecanismos para explicar como las sales de vanadio fundidas atacan las superficies metálicas :

- Los vanadatos actúan como un transportador de oxígeno .
- Los vanadatos deforman la estructura estable del óxido metálico .
- Los vanadatos fundidos disuelven la capa protectora de óxido .

En el primer caso se supone que el oxígeno se transfiere por el cambio de valencia en el vanadio, provocando la pérdida del metal .

El segundo mecanismo propuesto tiene como base la acción catalítica del  $\text{V}_2\text{O}_5$  (pentóxido de vanadio) combinado con una disminución apreciable de la capa de - depósito .

Por último, la disolución de la capa protectora de óxido se ha observado en - presencia de los vanadatos fundidos a temperaturas de  $648^\circ\text{C}$  .

Aún cuando no se ha sacado ninguna conclusión acerca de que mecanismo es el - más perjudicial, se sabe que el vanadio en presencia de sodio y oxígeno causa la corrosión del metal en una proporción elevada .

#### 4.2.6.1) Sol u c i ó n

Para reducir los efectos de corrosión por el lado del fuego se hace necesario tomar ciertas medidas preventivas, entre las que se cuentan las siguientes :

A) Control del exceso de aire .- ya que la presencia de oxígeno es un requisito para la oxidación de los compuestos de azufre y vanadio y por lo tanto para la - formación de depósitos y corrosión que estos producen, es importante buscar la

TABLA L  
PUNTOS DE FUSION DE COMPUESTOS DE VANADIO

NOMBRE	FORMULA	PUNTO DE FUSION °C
<i>Gamma - vanadil - vanadato de sodio</i>	$5 Na_2O, V_2O_4, 11 V_2O_5$	577
<i>Pirovanadato de sodio</i>	$2 Na_2O, V_2O_5$	620
<i>Metavanadato de sodio</i>	$Na_2O, V_2O_5$	630
<i>Beta - vanadil - vanadato de sodio</i>	$Na_2O, 3 V_2O_5$	668
<i>Pentóxido de vanadio</i>	$V_2O_5$	673
<i>Trióxido de vanadio</i>	$V_2O_3$	1971
<i>Tetróxido de vanadio</i>	$V_2O_4$	1971

FIG. M

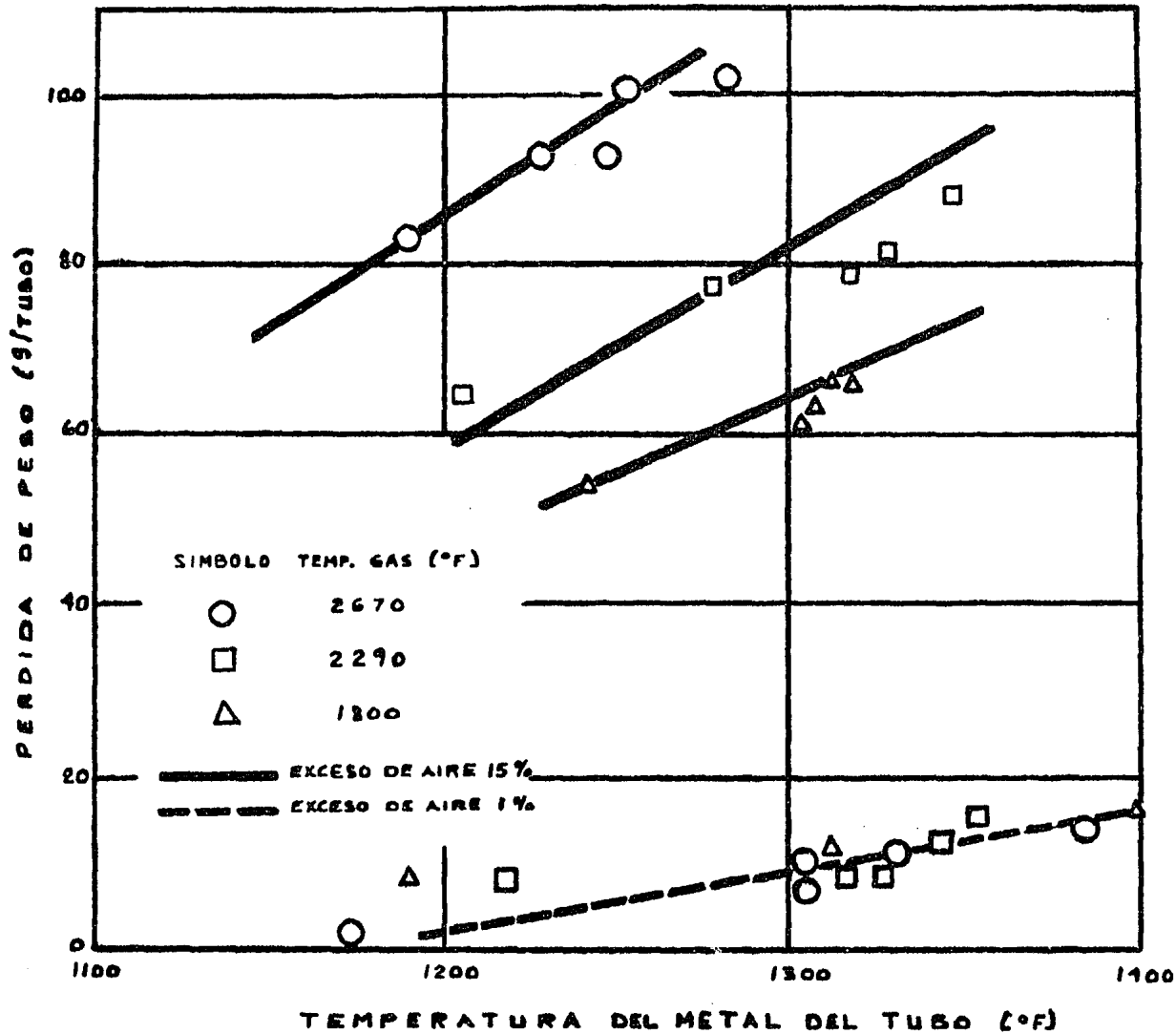


FIG. N

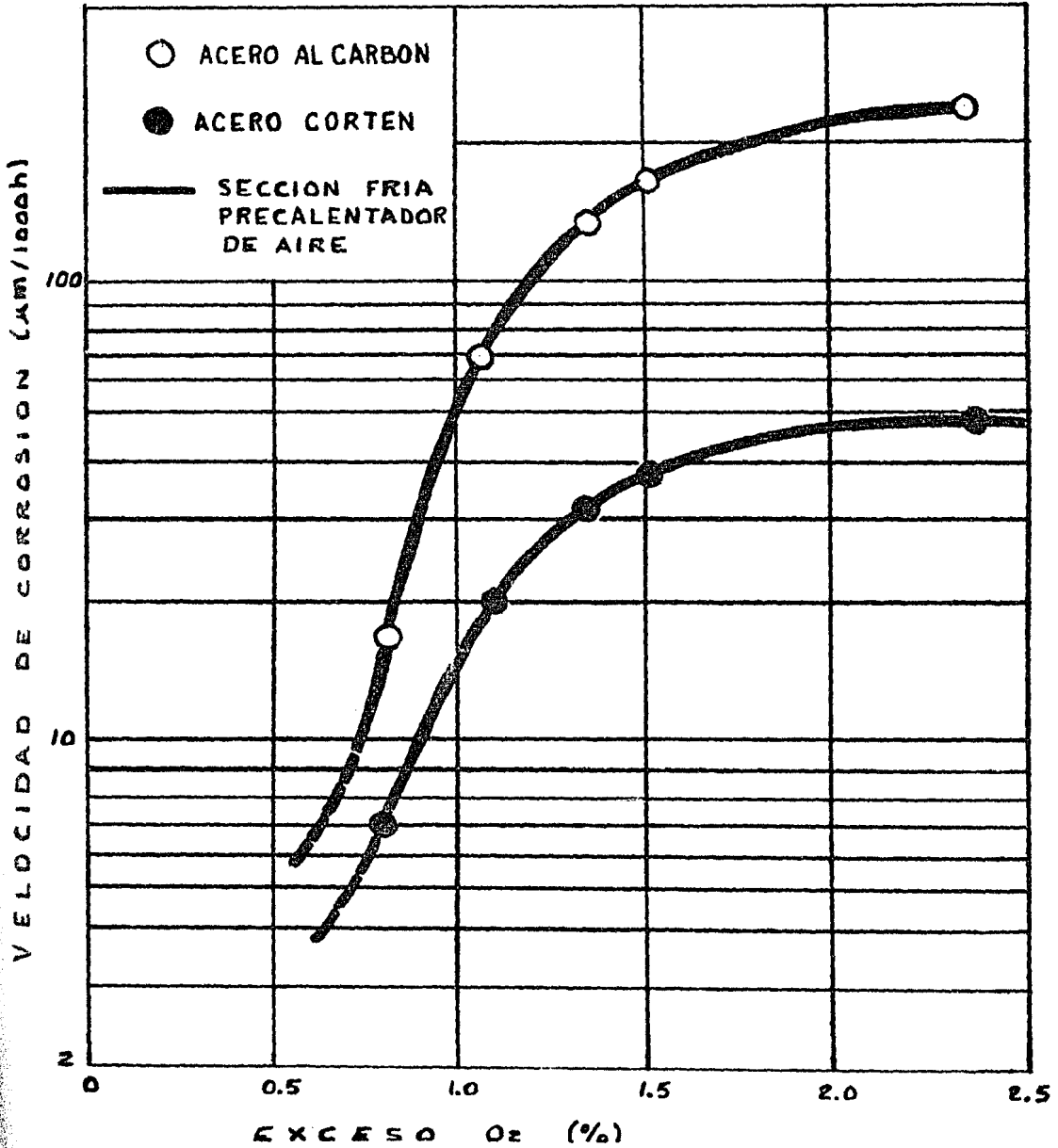
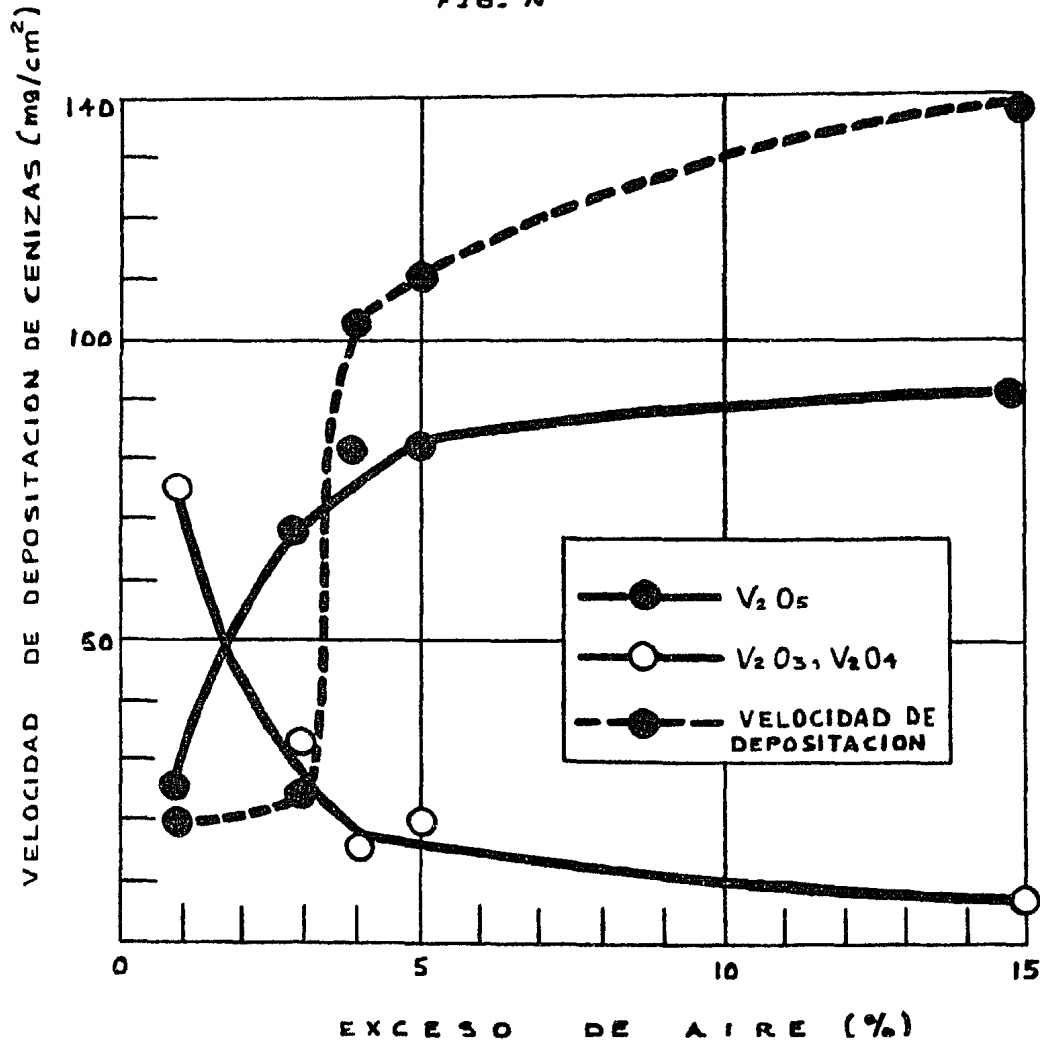


FIG. N̄



manera de trabajar con poco exceso de aire. Se ha comprobado plenamente que a concentraciones menores de % de oxígeno en los gases, disminuye la formación de depósitos y corrosión en recalentadores y sobrecalentadores, así como en los precalentadores de aire, y la emisión de cenizas ácidas. (Figuras N° y N°)

Hay dos razones que explican el fundamento de operar con bajo exceso de aire.

Primeramente como se ha descrito, a menores concentraciones de  $O_2$  en los gases será menor la concentración de  $SO_3$ , con la consiguiente menor formación de trisulfatos y un punto de rocío más bajo en los gases, con lo que disminuyen los problemas de corrosión en las zonas de baja temperatura. Por otro lado disminuirá la tendencia a formar ácido sulfúrico que mezclado con las partículas de carbón no quemado producen las molestas emisiones de cenizas ácidas.

En segundo lugar, un bajo exceso de aire disminuirá la oxidación del vanadio.

En síntesis los beneficios que se obtienen con bajo exceso de aire son:

- Aumento en la eficiencia de la unidad.
- Reducción en la potencia de los ventiladores.
- Reducción en las temperaturas de la chimenea.
- Reducción de la corrosión y reemplazos del equipo sobrecalentador y de los elementos del precalentador de aire.
- Reducción de emisiones ácidas.
- Condiciones óptimas para una transferencia de calor.
- Reducción en las operaciones de limpieza de la caldera y sopladors de hollín.

Las desventajas que se originan son:

- Tener mucho cuidado en la medición de combustible y  $O_2$  para cada quemador, ya que implica una proporción muy exacta.
- Tener cuidado de que no existan variaciones de carga durante la operación.
- El diseño de los quemadores también es importante, dado que se necesitará una mejor atomización para asegurar la íntima mezcla del combustible y aire. Se considera que la atomización con vapor es necesaria para este tipo de operación dado que suministra una mayor área de contacto entre las partículas de combustible y el aire de combustión.

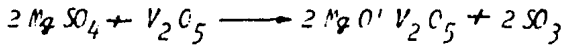
El Aditivo para combustible.- debido a que el costo de los aditivos es apreciable, además de los problemas de manejo, el aspecto económico decidirá si el empleo del aditivo es práctico y justificable.

Varios aditivos funcionan controlando la corrosión en altas temperaturas por su acción física, absorbiendo la película de líquido corrosivo y formando una barra protectora entre el depósito potencialmente corrosivo y el metal base, o bien por dilución de las sustancias indeseables a niveles en que no provoquen problemas. Los aditivos también actúan químicamente y en general no es posible separar la acción física de la química.

Existen muchos tipos de aditivos entre los que se cuentan los siguientes:

- Aditivos a base de cal y magnesio.- son los aditivos más comúnmente empleados debido a su bajo costo; la dosificación de estos productos también ayuda a evitar la contaminación del aire por el  $SO_2$ , sin embargo para eliminar totalmente a éste se requieren cantidades de aditivo equivalentes al contenido de cenizas del combustible, lo cual puede provocar problemas de grandes depósitos en sobrecalentadores. Cuando el objetivo principal es el control de corrosión, las cantidades son menores. Tanto el óxido de calcio (CaO) como el de magnesio (MgO) reaccionan químicamente con los compuestos de las cenizas.

Cuando hay suficiente  $SO_3$  en los gases, el óxido de magnesio formará  $MgSO_4$  (sulfato de magnesio), el cual a su vez reacciona con el  $V_2O_5$  (pentóxido de vanadio) para formar pirovanadato de magnesio:



Disminuyendo la cantidad de  $SO_3$  se puede formar también el ortovanadato de magnesio ( $3 MgO \cdot V_2O_5$ ).

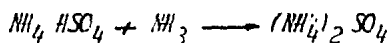
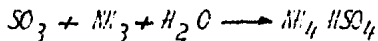
El magnesio se ha empleado en una gran variedad de formas: como magnesio metálico inyectado directamente al horno; como suspensión de óxido de magnesio rociado sobre tubos y sobrecalentadores en forma intermitente; como hidróxido de magnesio seco y pulverizado alimentado a la cámara de combustión; como suspensión de hidróxido de magnesio mezclado con el combustible, etc.

En general la dosificación de estos aditivos están basadas en la cantidad de ceniza en el combustible o en la concentración de un constituyente en especial como el vanadio o azufre.

- Aditivos de amoníaco.- la adición de amoníaco como aditivo en los combustibles reduce la corrosión en las zonas de baja temperatura, al reaccionar con el  $SO_2$  y con el  $SO_3$  formando el sulfato de amonio, sin embargo si las temperaturas son elevadas o si la dosificación de amoníaco ( $NH_3$ ) es insuficiente, se puede formar

el bisulfato de amonio que forma depósitos adherentes y voluminosos en los calentadores de aire, pudiendo llegar a taponarlos.

Las reacciones que se realizan a 29,8°C son:



A temperaturas menores el amoníaco reacciona con el  $\text{SO}_2$ .

- Aditivos a base de sílice.- se considera que la acción de los compuestos de sílice, evita la formación de compuestos de vanadio de bajos puntos de fusión, evitando la formación de depósitos y disminuyendo la adherencia de las partículas que forman escorias. También reacciona con los álcalis impidiendo la formación de los trisulfatos.

C) Diseñar adecuadamente las superficies de transferencia de calor.

D) Aumentar la resistencia a la corrosión de las superficies, mediante recubrimientos o tratamientos especiales.



**CAPITULO NO. 5**

**MANTENIMIENTO DE LOS GENERADORES  
DE VAPOR .**

## C A P I T U L O 5

### MANTENIMIENTO DE LOS GENERADORES DE VAPOR .

#### 5.1) Generalidades

Para asegurar la continuidad operativa de los equipos generadores de vapor, es importante aplicar el mantenimiento más adecuado para cada caso en particular, - aún antes de que estos así lo requieran, para evitar los problemas que ya se mencionaron con anterioridad .

Para esto es conveniente seleccionar los procedimientos en relación a la clase de equipo, características, estado, así como al tipo de averías que pueden presentar, y en especial al grado de seguridad requerido .

Se toman varias clases de medidas, las que se aplican para establecer :

- A) La detección anticipada y prevención correctiva .- se establece por medio de - una inspección previa y minuciosa para adoptar las medidas más adecuadas que eviten averías .
- B) La corrección preventiva .- se basa en la realización de trabajos de corrección prematura o primaria .
- C) La corrección .- se refiere a la ejecución de trabajos para la eliminación total de las averías .

Las medidas pueden ser aplicadas de varias formas :

- En forma crítica .- cuando la necesidad es urgente .
- En forma periódica .- cuando se aplican a lapsos determinados .
- En forma cíclica .- cuando se establecen una sucesión de operaciones .
- En forma programada .- cuando se determina y establece el momento oportuno .

#### 5.2) Tipos de Mantenimiento

Se aplican dos clases de mantenimiento : el preventivo y el correctivo .

a) Mantenimiento Preventivo .- consiste en detectar con la anticipación requerida la posible o posibles averías y adoptar las disposiciones necesarias para evitar que éstas se produzcan .

En general, la detección de dichas averías se fundamenta en la prevención y la predicción necesaria para que el equipo continúe funcionando en condiciones favorables . La predicción suele, generalmente estar basada en la realización de inspecciones y verificaciones que determinan la evolución y tendencia de parámetros

que informan sobre el desarrollo de anomalías internas, límite de la vida útil del equipo, etc ..

b) **Mantenimiento Correctivo** .- consiste en la reparación de las averías que se presentan sin previo aviso y las cuales pueden tener varios orígenes, tales como: uso inadecuado del equipo, negligencia del personal operativo, etc ..

El mantenimiento correctivo se aplica a un hecho consumado, ya que se realiza para superar una situación creada bajo la influencia de varios factores, por lo tanto se impone la necesidad de efectuar las reparaciones en la forma más conveniente . Entre los factores que se toman más en cuenta , se destaca el grado de influencia que tiene el problema en la marcha del proceso y la posibilidad de reemplazo del equipo .

El mantenimiento correctivo puede ser :

b.1) **De Mejoras** .- cuando se introducen pequeñas labores que tienen una acción de corrección y prevención, que según el grado de urgencia se efectúan como trabajos críticos o programados .

b.2) **De Emergencia** .- cuando se deben de efectuar de inmediato las reparaciones .

b.3) **Común** .- cuando la avería permite ser reparada según programa acorde con la urgencia .

### 5.3) Grupo de Mantenimiento

El grupo humano de mantenimiento para una planta de vapor, depende de varios factores tales como : tamaño de la planta, tipo de equipo instalado, combustible empleado, disponibilidad de agua de circulación, etc ..

Para varias plantas de un mismo sistema, el grupo humano de mantenimiento generalmente se mueve de una planta a otra, para efectuar las reparaciones mayores .

En plantas pequeñas los operadores pueden hacer trabajos de reparación con la ayuda ocasional de especialistas . A medida que las necesidades de mantenimiento aumentan, el grupo humano se divide por áreas, generalmente en eléctrica y mecánica . El área eléctrica se subdivide a su vez en especialidades de transformadores, motores, alumbrado, tableros y unidades de control, etc ..

El área mecánica se subdivide en especialidades de calderas, tuberos, trabajos de refractario y aislamiento, soldadura, pintura, máquinas herramientas, etc ..

Cada uno de los operarios de mantenimiento tiene que revisar la parte de equipo que le corresponde, así como identificar plenamente la instalación .

#### 5.4) Inspecciones Preliminares al Mantenimiento .

La inspección tiene por objeto conocer las condiciones en las que se encuentra operando el equipo generador de vapor, así como el de comprobar el grado de conservación del mismo .

La inspección puede realizarse con el equipo en o fuera de servicio, de acuerdo con el alcance pretendido, pero siempre sujetándose a las más estrictas medidas de seguridad .

Se toman en cuenta las condiciones de la atmósfera interna, verificando el contenido de oxígeno, gases tóxicos o explosivos, así como su temperatura, ésta debe ser reducida a un nivel seguro para protección del personal, debiendo proporcionar una ventilación adecuada .

El personal que inspeccione el interior de la caldera o de su equipo, debe tener en todo momento comunicación con el exterior, con personal capacitado y dispuesto a atender cualquier situación de emergencia .

Toda inspección del equipo deberá estar precedida de un programa que fije el motivo, límite o alcances, condiciones bajo las cuales se va a verificar, así como las medidas necesarias para la seguridad .

En servicio sólo se permitirá una inspección ocular a una distancia fuera del alcance de partes en movimiento; con el equipo fuera de servicio, no se harán pruebas destructivas tales como golpeo con martillo, taladro, cincel, etc., se harán únicamente calibraciones de espesores y detectores de fracturas con tinturas penetrantes .

Antes de proceder a la inspección de un equipo, deberá aislarse de los circuitos a los que se haya conectado, colocando bloqueos para la seguridad y pruebas posteriores, tales como: juntas ciegas en líneas de combustible (purgando con aire y hacia la atmósfera el gas acumulado entre la junta ciega y los quemadores), juntas ciegas en líneas de gas combustible a pilotos, bloqueos en válvulas de seguridad (aprovechando esto para la inspección y recalibración de dichas válvulas), bloqueos en líneas de vapor y líneas de alimentación de agua .

Las inspecciones no deben concretarse a satisfacer necesidades inmediatas de la operación o reparación, sino que deben también buscarse las fallas que pudieran ser en un futuro, motivo de un accidente, como por ejemplo: adelgazamientos de los tubos sobrepasando los límites de retiro, fracturas de piezas, etc. .

Las inspecciones se realizan mucho mejor si se elaboran reportes en los que se describe brevemente, la localización e historia de una avería o la operación incorrecta de algún equipo. Se elaboran diariamente y se entregan a la persona encargada de la planta, la cual asignará a su vez al personal específico para el mantenimiento, según sea el tipo particular del trabajo.

Estos reportes pueden mantenerse a la mano, una vez realizado el mantenimiento como una referencia en la lista de revisión, para comparación con futuras fallas.

#### 5.5) Programa de Mantenimiento Preventivo.

Previo rutina e inspección se deberá hacer de todas las partes de la planta y equipo que esté sujeto a uso, desalineamiento, deterioro o falla, en donde periódicamente se hagan pruebas y ajustes necesarios para un trabajo apropiado. Se deben preparar programas en donde se mostrarán cuando deberán hacerse las inspecciones, esto puede hacerse mejor en un cuadro en donde se listen todas las partes del equipo. Si se usa una forma de diagrama, los supervisores de operación pueden emplear la forma en que se realizan las inspecciones y de esta manera evitar un reparto equivocado en las labores de mantenimiento; cuando las inspecciones se completan, se revisan y se anotan en el diagrama.

Otro sistema es llevar un historial del equipo con las fechas y detalles de inspección de todos aquellos datos importantes que se deseen.

Un apropiado programa de mantenimiento preventivo, evita innecesarias y frecuentes inspecciones que aseguren que cualquier falla se localice al principio, para que no pueda causar daños al equipo; la experiencia demuestra que los costos totales se reducen llevando un control y datos correctos, y la continuidad del servicio es correcta usando el sistema de mantenimiento preventivo.

#### 5.6) Mantenimiento Básico Para Cualquier Equipo Generador de Vapor.

Los equipos modernos en las plantas de vapor son diseñados para trabajar continuamente sin parar, entre revisiones mayores.

El mejor tratamiento del agua juega un papel importante, prolongando los períodos para la limpieza y reparación de los equipos.

Las calderas así como la mayor parte del equipo auxiliar, deberán ser inspeccionados por lo menos una o dos veces por año según las exigencias.

El equipo eléctrico no sujeto a condiciones severas de suciedad tales como los motores, se sujetarán a revisiones por períodos similares a los de las calderas.

Al removerse el alambrado antes de desconectarse, debe ser cuidadosamente etiquetado para evitar una falla por una conexión defectuosa. Cualquier ajuste deberá anotarse para obtener el mismo después de la reparación o inspección; las partes pequeñas de cada pieza deben separarse en cajas, evitando así que sean dañados o perdidos. Cada parte que se quite será cuidadosamente inspeccionada y su estado anotado. Las fotografías pueden usarse eficazmente como un medio para mostrar las condiciones de cada parte que sean difíciles de describir con palabras o dibujos.

En plantas en que se tiene más de una caldera alimentando a un cabezal de vapor, es importante que las inspecciones y el mantenimiento se realicen sin demasiada tardanza, ya que se reducen las posibilidades de generación de energía eléctrica, por lo que se debe hacer una coordinación en la inspección y un programa para la limpieza, con objeto de tener la unidad fuera de servicio el menor tiempo posible.

Cuando la caldera esté fría, se pueden abrir las puertas de inspección y se deben tener al alcance andamios, luces, herramientas y el equipo necesario preparado para su uso en cuanto se pueda entrar al horno.

El enfriamiento de la caldera puede hacerse más rápido, si se dejan en operación los ventiladores.

Cuando la presión del agua de la caldera ha llegado a la atmosférica, debe purgarse para acelerar el enfriamiento.

Después que se hayan etiquetado válvulas y conexiones para que den una completa seguridad en el trabajo de la caldera, se debe hacer una cuidadosa inspección de las partes a presión tanto internas como externas. El horno de labrillo refractario, baffles (paredes directrices de los gases) y quemadores deben ser cuidadosamente revisados y reparados para asegurar que la unidad trabajará sin problemas hasta la siguiente revisión.

Si se requiere la caldera debe ser sopleteada por el interior y si es necesario bajo ciertas condiciones la limpieza ácida es recomendable.

Las condiciones de elementos del sobrecalentador y los soportes deben revisarse y repararse si es necesario, lo mismo que las válvulas de seguridad.

La descarga de la chimenea y los colectores de hollín se limpiarán y en caso -

necesario se repararán . Los ventiladores se revisarán y se checará que su condición mecánica sea correcta, se observará el desgaste en los tiros inducidos y se harán las reparaciones pertinentes .

Los manómetros e instrumentos se deben limpiar y calibrar, así como la tubería de conexión de la caldera .

Se debe elaborar un programa cuidadoso de trabajo para evitar interferencias - entre el personal que trabaja en las diferentes partes de la caldera .

Para una inspección interna se debe contar con la presencia de un representante de las compañías aseguradoras o bien por un inspector del gobierno, quienes verificarán y comprobarán las condiciones actuales del equipo .

Después de terminada la inspección interna de la caldera, se deben cambiar las juntas y llenarse la caldera con agua desmineralizada tratada, para hacer una - prueba hidrostática a la presión de operación a fin de detectar las fugas que pudieran existir . Las válvulas de seguridad deben observarse durante la prueba, pa - ra estar seguros que éstas no actúan aunque se eleve la presión, pues de otra manera el agua dañaría la válvula .

El inspector de calderas observará la prueba hidrostática, por lo que se harán los arreglos necesarios para que esté presente a la hora de efectuarse ésta .

Cuando se han retirado las etiquetas de licencias y estas son aprobadas por - las personas autorizadas, la unidad puede encenderse en la forma acostumbrada .

Se debe disponer de uno o dos hombres para cerrar los registros de la caldera al irse levantando la presión; si se ha cambiado el ajuste de las válvulas de seguridad, se probarán y ajustarán a su valor correcto . Los instrumentos y controles que se hayan revisado, deben ajustarse adecuadamente en operación .

## 5.7) Programa de Mantenimiento que se da a los Equipos de Generación de Vapor en el Centro Médico "La Raza" .

### A) CONJUNTO DE QUEMADOR .

A.1) Boquilla Para Diesel .- desmontar cuidadosamente para no dañar el tubo; limpiar con solvente, utilizando thinner para el onificio . No utilizar objetos - metálicos para limpieza . Al armar la boquilla, girar el disco dentro de la - misma para asegurarse que ajuste perfectamente y se obtenga una correcta auto - matización asegurando la boquilla .

Utilizar un trapo humedecido con diesel para hacer la limpieza del quemador en todas sus partes, teniendo cuidado de no doblar las aletas del plato difusor y asegurar que los tornillos del soporte del tubo de boquilla de diesel estén apretados y el soporte en su posición debida .

- A.2) Electrodo del Quemador .- limpiarlo con líquido dieléctrico y colocarlo nuevamente en posición adecuada .
- A.3) Cables del Transformador .- revisar su estado físico y comprobar que las terminales hagan un contacto perfecto, limpiar ligeramente con líquido dieléctrico los conectores hembra, dejar secar y conectar nuevamente .
- A.4) Piloto de Gas .- mantener limpios los conductos de aire en toda su extensión, destapar mezclador de gas y aire y limpiar los conductos internos .
- A.5) Quemador de Gas .- comprobar que la presión sea de 10 a 15 Onzas/pulg<sup>2</sup> .
- A.6) Limpieza de Fococelda .- limpiar la fotocelda y el conducto donde se encuentra instalada, cambiarla si es necesario .
- A.7) Combustión .- con un Orsat verificar que la mezcla de aire y combustible sea la adecuada, determinando los porcentajes de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). De los gases de combustión, el porcentaje de oxígeno deberá variar de 1 a 4%, el monóxido de carbono no deberá existir, y el dióxido de carbono de 80 a 85% .

## B) CONTROL DEL NIVEL .

- B.1) Cristal del Nivel .- reparar cualquier fuga que se observe en los soportes, apretando las tuercas o cambiando los empaques . Limpiar el cristal o cambiarlo si se considera necesario .
- B.2) Niveles de Operación .- comprobar en operación que la válvula de modulación de entrada de agua funcione correctamente, checar el paro por bajo nivel de la manera siguiente : con la caldera funcionando normalmente, desconectar el interruptor del motor de la bomba de inyección y comprobar que el quemador deja de funcionar y suena la alarma cuando se tiene un nivel de 32mm a partir de la tuerca inferior . En caso de que no deje de funcionar en este nivel, parar la caldera antes de que haya bajado tanto que no pueda apreciarse a través del cristal . Reparar el desperfecto y no hacer funcionar la caldera hasta tener la certeza de que el control de nivel trabajará correctamente .



- B.3) Grifos del Cristal de Nivel .- para evitar incrustaciones que impidan una correcta lectura, abra el grifo del cristal de nivel durante 3 segundos y repetir la operación después de un minuto .
- B.4) Electrodo .- limpiarlos para evitar fallas durante la operación que pueden ser peligrosas, poner especial cuidado a la hora de colocarlos para no cambiar los de posición .
- B.5) Diafragma del Flotador .- revisar el estado del mismo y limpiarlo teniendo -cuidado de no dañarlo, proceder igual con el flotador .
- B.6) Columna de Nivel .- limpiar el interior de esta, así como todos sus acceso-rios, hasta que desaparezca la incrustación .

#### C) BOMBA DE INYECCION DE AGUA .

- C.1) Temperatura de Cojinetes .- comprobar con la mano que la temperatura de la -caja de cojinetes sea normal, de no ser así, reducir la grasa que inyecta a - los baleros y checar con el estetoscopio que exista un sonido uniforme, de no ser así y continuar el sobrecalentamiento, investigar la causa .
- C.2) Lubricación de Cojinetes .- quitar la grasa y lavar los receptáculos, una - vez realizado esto, reponer la grasa .
- C.3) Prensa Estopa .- reemplazar todos los anillos de empaque empleando cordón de abesto grafitado de la medida que se requiera .
- C.4) Flecha .- generalmente las flechas tienen una protección en los anillos del prensa - estopa y consisten en unos bujes de bronce que entran justos en la - flecha y se conocen como "manguitos". Estos manguitos impiden que se raye o - desgaste la flecha y por lo tanto cuando el manguito se desgasta hay que reponerlo por uno nuevo .
- C.5) Alineación .- comprobar que la bomba este bien alineada con el motor; para - ello se utiliza un calibrador de lánas (laminillas de acero graduadas en milésimas de pulgada), el cual debe meterse en cruz entre las cajas de los medios coples de la bomba y del motor, de tal forma que el mismo número de lánas entren justas en los cuatro puntos de la cruz , la medida deberá ser de  $5/32''$  - (4mm) . Si esto no sucede hay que aflojar los tornillos que sujetan al motor - contra la base y moverlo hasta que las lánas entren como anteriormente se explíco .

- C.6) *Impulsores* .- quitar la tapa de la bomba para revisar el estado de los impulsores y el sello entre ellos, si se haya desgastado alguno, cambiarlo .
- C.7) *Cuerpo* .- desincrustarlo y limpiarlo, soplear el tubo de agua de lubricación .

#### D) CUERPO DE LA CALDERA .

- D.1) *Limpieza de Domos* .- dejar que la caldera se enfríe por completo, vaciarla - quitar las tapas de las tortugas, inspeccionarla por los domos y lavarla con agua a presión . Si hay incrustaciones y no son eliminadas totalmente con el lavado presión, pueden ser necesarias otras medidas como por ejemplo un lavado ácido de la caldera . Cambiar juntas de tortuga al cerrar .
- D.2) *Conexiones y Tuberías* .- quitar todos los tapones de las cruces de las tuberías y limpiar el interior de las mismas, así como de las que comunican a los controles de presión, de nivel, al manómetro, etc., teniendo cuidado de no dañar dichos controles .
- D.3) *Fugas en Fluxes* .- si se observan fugas en fluxes, será necesario identificarlos y rotarlos, y una vez que la caldera este en condiciones de funcionar, se le deberá hacer una prueba hidrostática para comprobar que las fugas se han eliminado completamente, por lo que será necesario tapar las bases de válvulas de seguridad y cerrar las válvulas restantes, manteniendo una presión de  $14 \text{ Kg/cm}^2$  como máximo .
- D.4) *Limpieza de Fluxes* .- estando completamente fría la caldera, penetrar al hogar por el registro de hombre para inspeccionar los fluxes por el lado de fuego; si se hayan sucios, limpiarlos utilizando escobillones y cepillos especiales para esta operación . La periodicidad de limpieza de los fluxes será determinada por las condiciones de operación del quemador, una regla práctica que determina el momento en que hay que limpiarlos, consiste en observar la temperatura de los gases de combustión saliendo de la chimenea y si es  $80^\circ\text{C}$  más alta que la temperatura del agua en el interior de la caldera, es un indicio de que hay que limpiarlos y aún la chimenea si es necesario .
- D.5) *Material Refractario* .- revisar el material refractario del hogar, si se observan grietas, repararlas con cemento refractario .
- D.6) *Birlos y Pernos* .- "refrescar" las cuerdas de los birlos de las tortugas y - de los pernos de las tapas y aplicar grafito con aceite .

- D.7) Empaques .- cerrar los registros de las tortugas y las tapas de la caldera y cambiar los empaques por nuevos .
- D.8) Fugas .- no permitir que existan fugas de agua, vapor o gases de combustión - en el cuerpo de la caldera .

#### E) SISTEMA DE COMBUSTIBLE .

- E.1) Fugas en Tuberías .- corregir inmediatamente cualquier fuga que se observe - en la tubería de combustible .
- E.2) Filtro de la Bomba .- limpiarlo es parte integrante de la bomba .
- E.3) Banda de Transmisión .- revisar la tensión de la banda de la bomba, así como su estado físico, de ser necesario reemplazarla .
- E.4) Alineación de la Bomba .- checar los tornillos de anclaje de la bomba de combustible y la alineación de la polea con la del motor .
- E.5) Válvulas de Solenoide .- la operación de estas válvulas debe revisarse visualmente, observando el quemador cuando este se apague, el fuego deberá cortarse inmediatamente, si no es así puede deberse a que la válvula este fallando o este gastada en su asiento y permita el paso del combustible, en este caso deberá repararse o cambiarse por una nueva .
- E.6) Bomba de Combustible Diesel .- desarmar esta bomba cada año para revisar todas sus partes como son: engranes, flecha, chumaceras, etc. y cambiar las que estén defectuosas . La presión del combustible deberá ser de 95 a 120 lb/pulg<sup>2</sup> (6.7 a 8.4 Kg/cm<sup>2</sup>) para un funcionamiento adecuado del quemador .

#### F) SISTEMA DE AIRE .

- F.1) Compuerta del Ventilador .- limpiar la entrada de aire (compuertas) .
- F.2) Alineación del Ventilador .- verificar que el ventilador este bien sujeto y comprobar la alineación de las poleas de este y del motor y que las flechas estén bien paralelas .
- F.3) Temperatura de los Baleros .- colocando la mano sobre la parte de donde están colocados los baleros, se debe soportar normalmente 10 segundos, en caso - contrario investigar la causa del calentamiento excesivo y corregirla .
- F.4) Cambio de Baleros .- cambiarlos cada año de servicio de la caldera .
- F.5) Bandas de Transmisión .- revisar la tensión de las bandas y su estado, de - ser necesario, cambiarlas por nuevas . Para verificar la tensión haga presión

sobre las bandas con un dedo y mida la flexión, que deberá ser de 1" a 1 1/4" .

F.6) Rotor del Ventilador .- Limpiarlo regularmente, así como todos los conductos de aire .

F.7) Vibraciones .- corregir cualquier vibración anormal que se observe en el ventilador .

### G) TANQUE DE CONDENSADOS .

G.1) Tuberías de Ventilación .- revisar que esta tubería no se encuentre obstruida o bloqueada .

G.2) Válvulas de Flotadores .- revisar el estado de las válvulas, limpiarlas y repararlas si fuera necesario .

G.3) Limpieza del Tanque .- vaciar el tanque, revisar el interior y en caso necesario lavarlo .

G.4) Material Aislante .- revisar el aislamiento del tanque de condensados y de todas las tuberías que lo necesiten y reparar en caso necesario .

### H) TANQUE DE PURGAS .

H.1) Limpieza Exterior .- con un trapo o estopa húmedos, limpiar el tanque y sus soportes .

H.2) Válvula de Desagüe .- abrir la válvula que se haya abajo del tanque para que salgan las impurezas que se han acumulado, de no salir estas, picar con un alambre para remover el sedimento del asiento (estando la válvula abierta) .

H.3) Tubo de Nivel .- checar que este tubo no presente estrelladuras y rajaduras en caso contrario sustituirlo por uno nuevo, comprobar también que los empaques en los soportes de este tubo no permitan fugas, si las hay apretar las tuercas que sirven de prensa estopa y si aún persiste la fuga, cambiar los empaques .

H.4) Manómetros y Termómetros .- revisar la calibración de los manómetros y termómetros, desmontándolos y colocando en su lugar otros patrones, y comparar sus lecturas . En caso de lecturas diferentes, cambiarlos por unos nuevos .

H.5) Limpieza Interior .- cerrar las válvulas de purga continua y de fondo de las calderas, quitar válvulas de desagüe, desmontar línea de desagüe para introducir por ahí una manguera, para hacer un lavado a presión .

H.6) Pintura Exterior .- después de haber lavado el tanque interiormente y de haber arrojado lo que se haya descompuesto, pintar exteriormente de acuerdo al

código (marfil) .

H.7) Fugas .- corregir cualquier fuga que exista .

#### 1) CONTROLES ELECTRICOS .

- 1.1) Limpieza .- mantener los controles eléctricos bien cerrados para evitar entrada de polvo. Periódicamente limpiar todos los contactos, utilizando una cartulina y haciendo presión con los dedos . Nunca utilizar lima o lija para estos trabajos .
- 1.2) Programador .- verificar la secuencia de operación del programador .
- 1.3) Bulbos del Programador .- cambiarlos cuando sea necesario .
- 1.4) Falla de la Flama .- checar protección por falla de flama, con la caldera en funcionamiento normal sacar la fotocelda y cubrirla con la mano, observar que el quemador se apague y que el programador efectúe el postbarrido .
- 1.5) Válvula de Seguridad .- para evitar que el asiento llegará a adherirse y al mismo tiempo para eliminar el polvo, cuando la caldera tenga presión, operar manualmente la válvula durante 3 segundos levantando la palanca de disparo .
- 1.6) Válvulas en General .- desarmar todas las válvulas de la instalación para limpiarlas, empaquetarlas, asentadas o cambiarlas por nuevas .

CAPITULO NO. 6

**ANALISIS ECONOMICO POR MAL  
FUNCIONAMIENTO DE LOS  
GENERADORES DE VAPOR .**

## C A P Í T U L O 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO POR MAL FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE VAPOR .

#### 6.1) Generalidades

En el capítulo 4 se mencionaron en forma general los principales problemas que pueden afectar el funcionamiento correcto de los equipos de generación de vapor, pues bien, dichos problemas ocasionan en la mayoría de los casos paros y suspensiones de servicio no programadas.

La indisponibilidad de los equipos generadores de vapor debido a problemas, en cualquier complejo industrial, representa grandes pérdidas económicas las cuales no son recuperables y varían según el tiempo que los equipos permanescan fuera de servicio para sus reparaciones, así como de la importancia o utilidad que tenga la generación del vapor para cada industria .

El objetivo principal del presente capítulo es hacer un balance económico aproximado (ya que es muy difícil hacer un balance exacto por los diversos factores que intervienen como son amortización de capital de la unidad, intereses, costo de la energía sustituida por otras Centrales, reparación de la falla, etc.) sobre la indisponibilidad de los generadores de vapor .

El estudio económico que a continuación presento, está totalmente referido a una Central termoeléctrica en donde los equipos son utilizados para producir el vapor necesario para la generación de potencia suficiente para producir energía eléctrica, ya que considero que en una planta de este tipo son más notorias las pérdidas económicas por la aplicación que tienen éstos . Con esto no quiero que se interprete que en una planta de procesos industriales en que se utilicen dichos equipos, las pérdidas económicas por indisponibilidad sean menos significativas, sino que por el contrario son tan importantes como en cualquier complejo industrial en donde se utilice al vapor como un medio para crear productos o servicios que satisfagan necesidades humanas .

#### 6.2) Bases Para el Análisis

Cualquier estudio económico que se lleve a cabo, puede partir de una o más bases para su análisis y cálculo . Para este trabajo en particular he tomado como base dos aspectos, que considero muy importantes como para tener una idea en nú-

meros sobre las pérdidas económicas, que se derivan de un mal funcionamiento. Es los aspectos los he clasificado de la manera siguiente:

A) Costos por indisponibilidad de equipos debido a fallas en tubos.

B) Costos por incremento en el consumo de combustible debido a condiciones inadecuadas de los equipos.

#### A) COSTOS POR INDISPONIBILIDAD DE EQUIPOS DEBIDO A FALLAS EN TUBOS.

Un funcionamiento defectuoso de los equipos generadores implican siempre la existencia de problemas, que abarcan desde los más pequeños e insignificantes que pueden repararse con el equipo en operación, hasta los más graves en los que es necesario parar la unidad para realizar los trabajos adecuados y convenientes.

Entre estos problemas mayores y que más frecuentemente se presentan, están los debidos a fallas de tubos, que como ya se explicó en otro capítulo, pueden tener diversas causas. Estas fallas representan cierta indisponibilidad, la que se refleja claramente en los aumentos de los costos por mantenimiento, así como en las pérdidas por suspensión de generación de vapor.

Me intención es mostrar estas pérdidas, a partir de datos proporcionados por la CFE (Comisión Federal de Electricidad). Según confirma esta dependencia, el costo para el año de 1983 por dejar de generar 1 MW de energía eléctrica es de \$ 75 000, este valor es aplicado en base a diversos factores que se toman en cuenta para su cálculo, tales como construcción de la central, número de unidades por instalar, capacidad de las unidades, disposición de agua, cantidad y tipo de combustible por consumir, etc.

Si consideramos que dicha empresa trabaja actualmente con unidades cuyas capacidades son en su mayoría de 75, 150 y 300 MW, nos daremos una idea de que tan grandes son las pérdidas económicas en un momento determinado, por indisponibilidad de alguno de los equipos principales, siendo el generador de vapor uno de ellos.

En la tabla No. 1 se indica la indisponibilidad a nivel nacional, que tuvieron los generadores de vapor para los años de 1979, 1980, 1981 y hasta Septiembre de 1982, agrupados por capacidad de unidades; se observa que las fallas de tubos (por diversas causas: incrustación interna, corrosión interna y externa, soldadura, diseño, etc.) representaron el 38.35, 16.04 y 23.64 % de la indisponibilidad total



de las unidades de 300, 150 y 75 MW respectivamente .

En la tabla No.2 se muestra la indisponibilidad por Central con unidades de - capacidad superior a 75 MW, durante 1981. En ésta se puede ver que la Central Tula 1 tuvo una indisponibilidad de 29.53 % la mayor de la República, en contraste algunas unidades como la de Altamira 1, Valle de México 3, Salamanca 1, Mazatlán 1 y 2, Guaymas 3 y 4, Monterrey 4, Tijuana 1,3 y 4 no presentaron indisponibilidad por este concepto (falta de tubos) . Lo anterior significa que los problemas pueden llegar a ser tan grandes que indispongan una unidad por mucho tiempo, y - por el otro lado es posible operar las unidades sin fallas de tubos .

En la tabla No.3 se evalúan los costos de las fallas de tubos, desglosado por Central y por unidad, para el año de 1981 y tomando como base el valor que regía para el año de 1983, que era de \$ 75 000/MW no generado . La Central que tuvo el más alto costo, fue la de Altamira con \$ 6 344.587 millones de pesos/MW-Año no - generado, mientras que la que no presentó costos por este concepto, fue la Central de Mazatlán 11 . El costo global a nivel nacional por indisponibilidad de - los equipos para ese año, fue de \$ 13 462 millones de pesos, tan sólo por este - concepto . Ver gráficas A y B para indisponibilidad de equipos .

#### EJEMPLO DE COMO SE CALCULARON LOS COSTOS DE LA TABLA NO. 3

CENTRAL : T u l a

UNIDAD : N ú m e r o 1

POTENCIA : 300 MW

ENERGIA GENERADA POR AÑO : Potencia x 365 días = 109 500 MW

INDISPONIBILIDAD : 29.53 %

ENERGIA NO GENERADA POR INDISPONIBILIDAD : Energía generada por año X Indisponi-  
bilidad = 32 335.4 MW - AÑO

VALOR BASE PARA EL CALCULO : \$ 75 000/MW no generado

COSTO : Energía no generada x valor base = 2425.15 millones de pesos/año

COSTOS TOTALES EN CENTRAL TULA : Suma de los costos de c / u de las unidades es  
igual a 3598.72 millones de pesos/año .

COSTOS GLOBALES A NIVEL NACIONAL : Suma de los costos totales de c / u de las -  
Centrales es igual a 13 462 millones de pesos/año .

TABLA NO. 1

INDISPONIBILIDAD DE UNIDADES A NIVEL NACIONAL POR FALLAS DE TUBOS DE GENERADORES DE VAPOR PARA LOS AÑOS DE 1979, 1980, 1981 Y 1982 (HASTA SEPTIEMBRE), EN %.

PARTE DEL GENERADOR	CAPACIDAD EN MW		
	300	150 A 158	75 A 84
ECONOMIZADOR	1.32	0.23	—
PAREDES DE AGUA	4.59	1.64	1.94
SOBRECALENTADOR	1.41	0.50	1.63
RECALENTADOR	1.98	—	—
TOTAL	9.30	2.37	3.57
SUMA ABSOLUTA	24.25	14.78	15.10
% DE FALLA DE TUBOS DEL TOTAL	38.35	16.04	23.64

TABLA NO. 2

INDISPONIBILIDAD POR FALLAS DE TUBOS DE GENERADORES DE VAPOR EN EL AÑO DE 1981.

## CENTRAL TULA

UNIDAD	POTENCIA MW	PAREDES %	ECONOM. %	SOBRECAL. %	RECAL. %	SUMA (a)%	TOTAL ANUAL (b)%	%100 a/b
1	300	—	—	—	29.53	29.53	31.69	93.18
2	300	—	—	—	10.19	10.19	14.47	70.42
3	300	—	—	—	2.33	2.33	7.0	33.29
4	300	1.77	—	—	—	1.77	11.06	16.00

## CENTRAL ALTAMIRA

1	158(150)	—	—	—	—	—	5.95	0.0
2	158(150)	—	—	—	3.01	3.01	19.52	15.42
3	300	73.26	—	—	—	73.26	84.62	86.58
4	300	—	—	2.41	—	2.41	45.99	5.42

## CENTRAL VALLE DE MEXICO

1	150	0.73	—	8.4	1.0	10.13	31.58	32.08
2	158(150)	—	—	3.08	—	3.08	21.84	14.10
3	158(150)	—	—	—	—	—	15.48	0.0
4	300	—	4.12	—	2.14	6.26	33.53	18.67

## CENTRAL SALAMANCA

1	158(150)	—	—	—	—	—	25.08	0.0
2	158(150)	3.48	—	—	1.19	4.67	15.84	29.48
3	300	—	—	—	—	—	52.84	0.0
4	300	8.25	—	3.04	—	11.29	33.43	33.77

CONTINUA

## CENTRAL MAZATLAN II

UNIDAD	POTENCIA KW	PAREDES %	ECONOM. %	SOBRECAL. %	RECAL. %	SUMA (a)%	TOTAL ANUAL (b)%	%100a/b
1	158	—	—	—	—	—	3.82	0.0
2	158	—	—	—	—	—	41.90	0.0

## CENTRAL QUAYMAS II

1	84	3.70	—	3.59	—	7.29	9.43	77.31
2	84	—	—	5.15	—	5.15	14.66	35.13
3	158	—	—	—	—	—	9.24	0.0
4	158	—	—	—	—	—	12.23	0.0

## CENTRAL MONTERREY

1	75	—	—	4.28	—	4.28	15.32	27.94
2	75	—	—	7.30	—	7.30	20.67	35.32
3	75	10.77	—	—	—	10.77	16.95	63.54
4	85(80)	—	—	—	—	—	16.12	0.0
5	84(80)	—	—	14.88	—	14.88	33.11	44.94
6	84(80)	—	—	3.89	—	3.89	19.03	20.44

## CENTRAL TIJUANA

1	75	—	—	—	—	—	2.45	0.0
2	75	7.29	—	—	—	7.29	13.20	55.23
3	75	—	—	—	—	—	2.31	0.0
4	80	—	—	—	—	—	5.80	0.0

## T A B L A N O . 3

COSTO DE LAS FALLAS DE TUBOS DE GENERADORES DE VAPOR EN 1981, BASE \$ 75 000/MW.

## CENTRAL TULA

UNIDAD	POTENCIA MW	GENERACION/AÑO (POT x 365 DIAS) MW	INDISPONIBILIDAD %	MW/AÑO NO GENERADOS POR INDISPONIBILIDAD	COSTO 10 <sup>6</sup> \$/AÑO
1	300	109 500	29.53	32 335.4	2425.150
2	300	109 500	10.19	11 158.1	836.857
3	300	109 500	2.33	2 551.4	191.355
4	300	109 500	1.77	1 938.2	145.365
				TOTAL	3598.727

## CENTRAL ALTAMIRA

1	158(150)	57 670	—	—	—
2	158(150)	57 670	3.01	1 735.9	130.192
3	300	109 500	73.26	80 219.7	6016.470
4	300	109 500	2.41	2 639.0	197.925
				TOTAL	6344.587

## CENTRAL VALLE DE MEXICO

1	150	54 750	10.13	5 546.2	415.965
2	158(150)	57 670	3.08	1 776.2	133.215
3	158(150)	57 670	—	—	—
4	300	109 500	6.26	6 854.7	514.102
				TOTAL	1063.282

## CENTRAL SALAMANCA

1	158(150)	57 670	—	—	—
2	158(150)	57 670	4.67	2 693.2	201.990

CONTINUA

UNIDAD	POTENCIA MW	GENERACION/AÑO (POT x 365 DIAS) MW	INDISPONIBILIDAD %	MW/AÑO NO GENERADOS POR INDISPONIBILIDAD	COSTO 10 <sup>6</sup> \$/AÑO
3	300	109 500	—	—	—
4	300	109 500	11.29	12 362.6	927.195
				TOTAL	1129.185

## CENTRAL MAZATLAN II

1	158	57 670	—	—	—
2	158	57 670	—	—	—

## CENTRAL QUAYMAS II

1	84	30 660	7.29	2 235.1	167.632
2	84	30 660	5.15	1 579.0	118.425
3	158	57 670	—	—	—
4	158	57 670	—	—	—
				TOTAL	286.057

## CENTRAL MONTERREY

1	75	27 375	4.28	1 171.7	87.877
2	75	27 375	7.30	1 998.4	149.880
3	75	27 375	10.77	2 948.3	221.122
4	85(80)	31 025	—	—	—
5	84(80)	30 660	14.88	4 562.2	342.165
6	84(80)	30 660	3.89	1 192.7	89.452
				TOTAL	890.496

## CENTRAL TIJUANA

1	75	27 375	—	—	—
2	75	27 375	7.29	1 995.6	149.670

CONTINUA

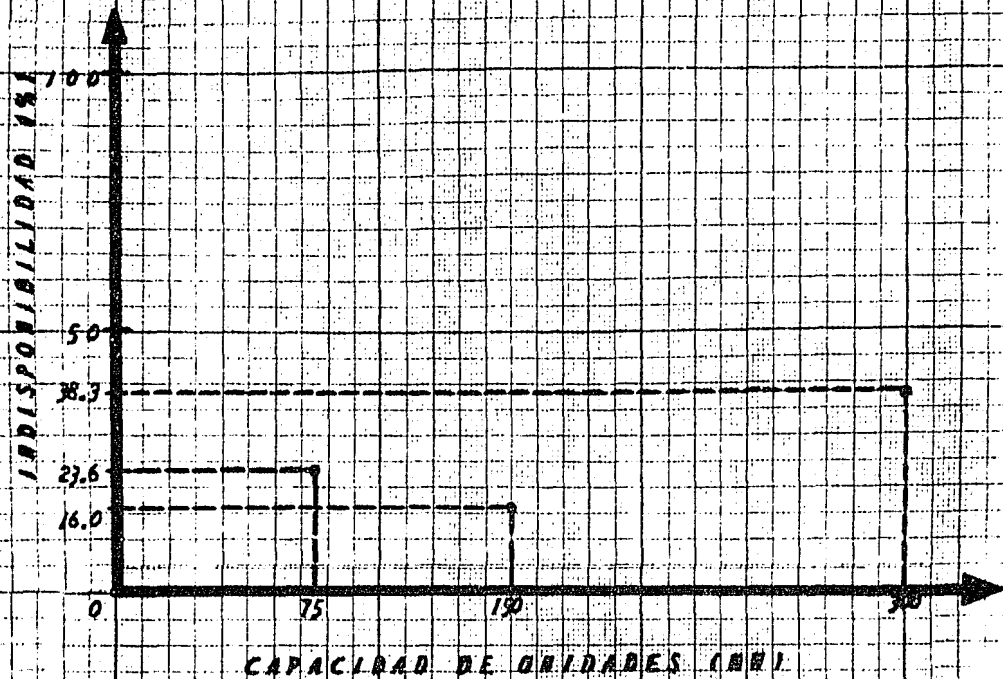
UNIDAD	POTENCIA MW	GENERACION/AÑO (POT x 365 DIAS) MW	INDISPONIBILIDAD %	MW/AÑO NO GENERADOS POR INDISPONIBILIDAD	COSTO 10 <sup>6</sup> \$/AÑO
3	75	27 375	—	—	—
4	80	29 930	—	—	—
				TOTAL	149.670

COSTO GLOBAL = SUMA DE LOS COSTOS TOTALES DE TODAS LAS CENTRALES = \$ 13 462.004  
MILLONES DE PESOS PARA ESE AÑO (1981) .

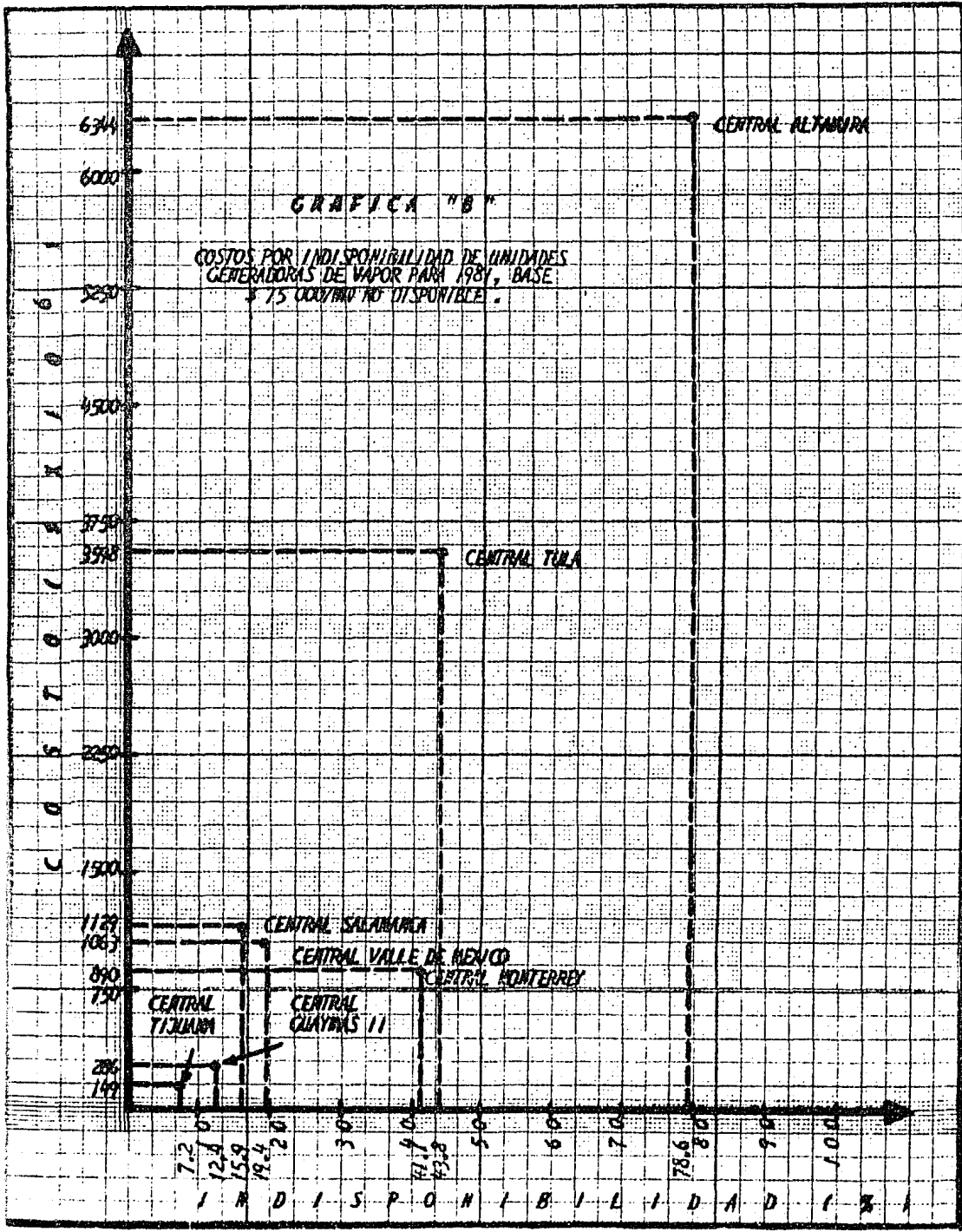
*N O T A* : La paridad del peso con el dólar para ese año (1981) era de \$ 24.00 por cada dólar, por lo que CFE tenía un valor base de \$ 12 000/MW no generado, los cálculos que he mostrado son en base a un valor de \$ 75 000 el que fué obtenido haciendo el cambio conforme a la paridad actual y que corresponde a \$ 150.00 por dólar .

### GRAFICA "A"

INDISPONIBILIDAD DE UNIDADES A NIVEL NACIONAL POR FALLAS DE TUBOS DE GENERADORES DE VAPOR PARA LOS AÑOS DE 1979, 1980, 1981 Y HASTA SEPTIEMBRE DE 1982, SEGUN SU CAPACIDAD.







**B) COSTOS POR INCREMENTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEBIDO A CONDICIONES INADECUADAS DE LOS EQUIPOS .**

La cantidad de combustible consumida por los equipos generadores de vapor durante la producción de éste, puede ser indicio para saber si un equipo está trabajando adecuadamente o no .

Es bien conocido que cuando existen problemas o fallas en los equipos o en parte de ellos, la eficiencia se ve afectada y por lo tanto se tiene que reducir la carga, para evitar que aquéllos se agraven . Sin embargo si las necesidades de generar vapor son muy grandes, como el que se requiere por ejemplo, en una Central termoeléctrica, en la mayoría de las veces se prefiere sacrificar las condiciones del equipo y una mayor cantidad de combustible, para obtener aquél . Esto desde luego incrementa los gastos por consumo de combustible en un alto grado, los que pueden calcularse fácilmente de la manera siguiente .

La eficiencia para los generadores de vapor está dada por :

$$\eta = \frac{Q}{m_c P.C.S.} \quad - (1)$$

Donde

$\eta$  = es la eficiencia del generador de vapor (%).

$Q$  = es la carga o capacidad a la que está trabajando (MW, KW) .

$m_c$  = es el flujo de combustible (KG/HR, TON/DIA, etc .) .

$P.C.S.$  = es el poder calorífico superior del combustible (KJ/KG) .

De esta ecuación (1), podemos encontrar el flujo de combustible que se consume durante un período de tiempo, si conocemos la clase de combustible, su poder calorífico, así como la carga a la que se halla trabajando el generador y la eficiencia, es decir a partir de :

$$m_c = \frac{Q}{\eta P.C.S.} \quad - (2)$$

De esta ecuación (2), se nota ya más claramente que si la eficiencia como anteriormente señalábamos, disminuye para una misma carga, y sabiendo que el poder calorífico para cada clase de combustible es casi siempre constante, el flujo de combustible aumenta, incrementando los costos a su vez .

Para dar una idea de que tan grandes pueden ser estos incrementos, a continuación se muestran los datos obtenidos de CFE (Comisión Federal de Electricidad), a partir de los cuales se calcularon los costos por este concepto.

Esta dependencia trabaja con unidades que en su mayoría son de capacidades de 75,150 y 300 MW, se trabaja con gas natural, aceite diesel, pero el más utilizado es el combustible pesado (P.C.S. = 35 000 KJ/KG, Densidad = 988 KG/M<sup>3</sup>), generalmente la eficiencia que se obtiene en estos equipos es del 75 % si éstos se encuentran en perfectas condiciones, aunque también se puede ver disminuida hasta en un 35 % si se hallan en mal estado, lo que ocasiona que se consuma mayor cantidad de combustible para sostener la misma carga, con lo que aumentan los gastos.

Según datos proporcionados por PEMEX, el precio para el combustible pesado en Diciembre de 1982 cuando la paridad del dólar con el peso, era de 1 por \$ 70.00, se encontraba a \$ 669.00 M<sup>3</sup> lo que equivale en la actualidad (1984) a \$ 1434.00 M<sup>3</sup> esto conforme a la nueva paridad de 1 dólar por \$ 150.00. En base a este valor se pueden conocer los costos por consumo de combustible.

Para una unidad de las pequeñas (75 MW = 75 000 KW), si la eficiencia se reduce de un valor de 75 % a uno de 40 % y se mantuviera así trabajando durante algún tiempo de digamos por ejemplo, medio año (6 meses = 182 días), el incremento que se tendría en los costos por el consumo de combustible que habría que alimentar durante dicho período de tiempo, sería igual a los indicados en la tabla No. 4.

Estos valores fueron calculados de la manera siguiente:

Primeramente se aplica la ecuación (2), para hallar el flujo de combustible necesario para mantener la carga correspondiente a una determinada eficiencia, en seguida se divide el valor obtenido entre la densidad del combustible que es igual a 988 KG/M<sup>3</sup>, para obtener el resultado en unidades de volumen, y por último se multiplica este valor por el precio/m<sup>3</sup> del combustible.

EJEMPLO:

$$m_c = \frac{Q}{\eta \text{ P.C.S.}} = \frac{75\,000}{(0.75)(35\,000)} = 2.85 \frac{\text{KG}}{\text{Seg}} = 45\,051.4 \frac{\text{TON}}{\text{Medio Año}} = 45\,598.6 \frac{\text{M}^3}{\text{Medio Año}}$$

$$\text{COSTO} = \text{Flujo de combustible} \times \text{Precio} = (45\,598.6)(1434) = \$ 65\,388\,407$$

Para cuando la eficiencia disminuye hasta un valor de 40 %, la cantidad de combustible y los costos serán de :

$$m_c = \frac{75\,000}{(0.40)(35\,000)} = 5.35 \frac{\text{KG}}{\text{Seg}} = 84\,471.4 \frac{\text{TON}}{\text{Medio Año}} = 85\,497.3 \frac{\text{m}^3}{\text{Medio Año}}$$

$$\text{En este caso el COSTO} = (85\,497.3)(1434) = \$ 122\,603\,000$$

Así pues el incremento en el costo debido a la reducción de la eficiencia de un valor de 75 a 40 %, es igual a

$$\begin{aligned} \text{INCREMENTO} &= \text{Costo final} - \text{Costo inicial} \\ &= 122\,603\,000 - 65\,388\,407 = \underline{\underline{\$ 57\,214\,593}} \end{aligned}$$

Como puede notarse esta cifra es bastante significativa, ya que comprende varios millones de pesos que afectan la economía de la empresa en cuestión, de ahí la importancia de tomar conciencia de no trabajar con los equipos deteriorados, así como de procurar dar un mantenimiento cada vez más efectivo y a su tiempo debido, para evitar mayores consumos de combustible.

En las gráficas C y D se indican los incrementos de combustible y los costos que se tienen para sostener una misma carga, cuando la eficiencia se ve reducida por problemas en los generadores de vapor.

Los cálculos anteriormente realizados fueron para unidades de 75 MW, es decir de las más pequeñas que se utilizan en CFE, lógicamente para unidades de 150 y 300 MW los costos serán todavía mucho mayores, como queda indicado en las tablas Nos. 5 y 6. El comportamiento gráfico para estas unidades será idéntico que el presentado para las unidades de 75 MW, aunque para otros valores más grandes.

TABLA NO. 4

INCREMENTO EN LOS COSTOS POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA MANTENER UNA MISMA CARGA (UNIDADES DE 75 MW), CUANDO LA EFICIENCIA DISMINUYE POR PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS.

$\eta$		$M_c$		COSTO	INCREMENTO C/R AL 1 <sup>er</sup> COSTO
(%)	KG/SEG	TON/MEDIO $\times 10^3$	M <sup>3</sup> /MEDIO $\times 10^3$	$\$ \times 10^6$	$\$ \times 10^6$
75	2.85	45.051	45.598	65.388	—
70	3.06	48.269	48.855	70.059	4.670
65	3.29	51.982	52.613	75.448	10.059
60	3.57	56.314	56.998	81.735	16.347
55	3.89	61.433	62.179	89.166	23.777
50	4.28	67.577	68.397	98.082	32.694
45	4.76	75.085	75.997	108.980	43.591
40	5.35	84.471	85.479	122.603	57.214

TABLA NO. 5

INCREMENTO EN LOS COSTOS POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA MANTENER UNA MISMA CARGA (UNIDADES DE 150 MW), CUANDO LA EFICIENCIA DISMINUYE POR PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS .

$\eta$	$M_c$			COSTO	INCREMENTO C/R AL 1 <sup>er</sup> COSTO
( % )	KG/SEG	TON/MEDIO	M <sup>3</sup> /MEDIO	\$ x 10 <sup>6</sup>	\$ x 10 <sup>6</sup>
		x 10 <sup>3</sup> AKO	x 10 <sup>3</sup> AKO		
75	5.71	90.102	91.197	130.776	—
70	6.12	96.538	97.711	140.118	9.342
65	6.59	103.964	105.227	150.896	20.120
60	7.14	112.628	113.996	163.471	32.695
55	7.79	122.867	124.359	178.332	47.556
50	8.57	135.154	136.795	196.165	65.389
45	9.52	150.171	151.995	217.961	87.185
40	10.71	168.942	170.994	245.206	114.430

TABLA NO. 6

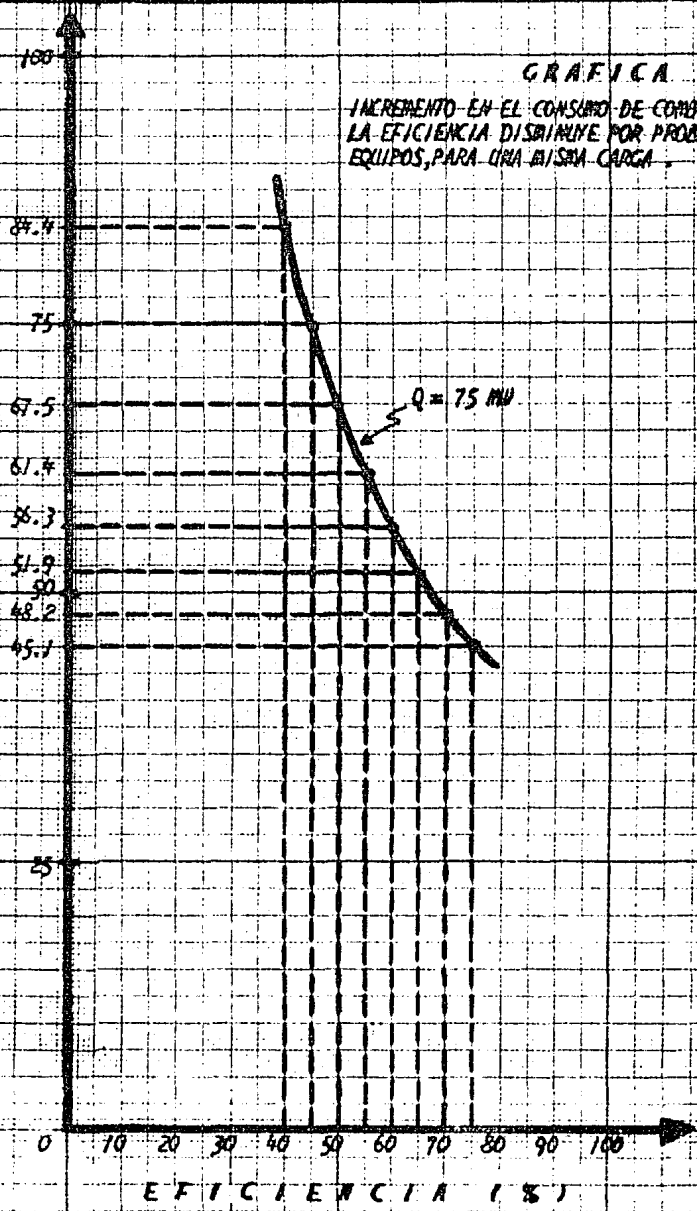
INCREMENTO EN LOS COSTOS POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA MANTENER UNA MISMA CARGA (UNIDADES DE 300 MW), CUANDO LA EFICIENCIA DISMINUYE POR PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS.

$\eta$		$M_c$		COSTO	INCREMENTO C/R AL 1 <sup>er</sup> COSTO
( % )	KG/SEG	TON/MEDIO $\times 10^3$	M <sup>3</sup> /MEDIO $\times 10^3$	$\$ \times 10^6$	$\$ \times 10^6$
75	11.42	180.205	182.394	261.553	—
70	12.24	193.077	195.422	280.236	18.683
65	13.18	207.929	210.455	301.792	40.239
60	14.28	225.257	227.993	326.942	65.389
55	15.58	245.735	248.719	356.664	95.111
50	17.24	270.308	273.591	392.330	130.777
45	19.04	300.342	303.990	435.922	174.369
40	21.42	337.885	341.989	490.413	228.860

CONSUMO DE COMBUSTIBLE (TON/MEGAVATIO HORAS)

GRAFICA "C"

INCREMENTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE CUANDO LA EFICIENCIA DISMINUYE POR PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS, PARA UNA MISMA CARGA.





# GRAFICA "D"

## COSTOS POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE



## CONCLUSION

Para obtener de los generadores de vapor los mejores resultados a lo largo de toda su vida, es muy importante respetar las condiciones para las cuales fueron diseñados, así como operar los equipos correctamente, además de proporcionarles el mantenimiento más adecuado para cada caso en particular .

Si se cumple satisfactoriamente con todo lo anterior, podemos entonces confiar en que los equipos responderán de una manera óptima y eficiente cada vez que se les requiera, lo que se traducirá en una mayor disponibilidad de éstos, con un menor número de fallas, menores paros y suspensiones de servicio, menores costos por reparaciones y en general menores pérdidas económicas .

Debido a que generalmente es en la etapa de operación donde se detectan las fallas, y es en los operadores donde principalmente recae la responsabilidad para conseguir un buen funcionamiento y durabilidad de los equipos, se recomienda a éstos que desempeñen sus obligaciones y sus deberes lo mejor posible . El personal operativo debe estar capacitado además para atender con habilidad, rapidez y sobretodo seguridad, cualquier situación de peligro por pequeña que esta sea, la que en un momento determinado pudiera dañar los equipos o parte de ellos .

Es imprescindible la elaboración de reportes, para llevar un historial sobre el funcionamiento de los generadores de vapor, desde el arranque inicial hasta sus condiciones actuales, con la finalidad de disponer con los antecedentes de operación y reparaciones que se hayan efectuado, los que servirán de base para realizar las comparaciones necesarias sobre el comportamiento de los equipos .

El mantenimiento debe efectuarse aun antes de que así se requiera, para asegurar una operación adecuada . No se justifica desde ningún punto de vista, el cálculo que represente la inversión económica de algún tipo de mantenimiento tendiente a conservar en perfectas condiciones los equipos, ya que si éste no se realiza o se lleva a cabo a tiempo, los equipos se lo cobrarán con creces, como queda indicado en el análisis económico por mal funcionamiento, desarrollado en este último capítulo .

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1).- CALDERAS (TIPOS, CARACTERISTICAS Y SUS FUNCIONES) .  
CARL D. SHIELDS  
ED. CECSA
- 2).- ENERGIA MEDIANTE VAPOR, AIRE O GAS .  
W. H. SEVERNS  
ED. REVERTE S. A.
- 3).- CENTRALES ELECTRICAS .  
FREDERICK MORSE  
ED. CECSA
- 4).- CURSO DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOMO IV  
GENERADORES DE VAPOR  
PUBLICACION DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
- 5).- IX REUNION INTERNACIONAL SOBRE CALDERAS Y RECIENTES DE PRESION .  
C.F.E. (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD)  
I.I.E. (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS)  
A.M.I.M.E. (ASOCIACION MEXICANA DE INGENIEROS MEC-ELECTRICOS)  
PALMIRA NORELOS, MEXICO 1982
- 6).- STEAM, ITS GENERATION AND USE .  
THE BABCOCK & WILCOX COMPANY  
THIRTY-NINTH EDITION  
USA 1978
- 7).- SELECTED CONTRIBUTIONS ON POWER STATION TECHNOLOGY .  
PUBLICACION DE BABCOCK & WILCOX COMPANY
- 8).- FUEL BURNING AND STEAM GENERATION .  
PUBLICACION DE COMBUSTION ENGINEERING, INC.
- 9).- MANUAL DE ARRANQUE Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS GENERADORES DE VAPOR .  
PUBLICACION DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD .

- 10).- MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE GENERADORES DE VAPOR .  
PUBLICACION DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD .
- 11).- DISEÑO, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS BARCOCK & WILCOX .  
CURSO A PETROLEOS MEXICANOS  
ORTIZ RAMIREZ J.A. Y ORTEGA LOPEZ J.F.  
I.M.P. , SEPTIEMBRE 1978
- 12).- ORIGEN Y SOLUCION DE FALLAS DE TUBOS EN CALDERAS .  
PUBLICACION DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD .
- 13).- XI REUNION NACIONAL DE INGENIEROS QUIMICOS SOBRE PROBLEMAS FRECUENTES  
EN EQUIPOS DE GENERACION DE VAPOR .  
PUBLICACION DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD .
- 14).- ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA DE FALLAS DE TUBOS DE CALDERAS EN LA CENTRAL  
TERMOELECTRICA VALLE DE MEXICO .  
PUBLICACION DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD .
- 15).- PROBLEMÁTICA CAUSADA POR AGUAS DE REPUESTO PROVENIENTES DE LAZUNAS EN  
CENTRALES TERMOELECTRICAS .  
PUBLICACION DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD .
- 16).- PROBLEMAS CAUSADOS POR CORROSION Y FORMACION DE DEPOSITOS EN ZONAS DE  
ALTA Y BAJA TEMPERATURA EN GENERADORES DE VAPOR .  
BOLETIN DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS .
- 17).- MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE GENERADORES DE VAPOR .  
PROPIEDAD DEL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL .
- 18).- EVALUACION ECONOMICA POR INDISPONIBILIDAD DE GENERADORES DE VAPOR EN  
PLANTAS TERMOELECTRICAS . (PUBLICACION DE C.F.E .)
- 19).- FUENTES DEL CURSO DE MAQUINAS TERMICAS QUE SE LLEVA EN ENEP ARACON .