



2ej. 115

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

GENERADORES DE VAPOR:
OPERACION, MANTENIMIENTO
Y ANALISIS DE FALLAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
J. TRINIDAD ROMERO FIGUEROA

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

GENERADORES DE VAPOR

OPERACION, MANTENIMIENTO Y ANALISIS DE FALLAS.

INDICE:

PAG.

| | | |
|--------------|---|-----|
| CAPITULO 1.- | Conceptos básicos de termodinámica. | 1 |
| 1.1.- | Definición y leyes fundamentales. | |
| 1.2.- | Procesos termodinámicos. | |
| CAPITULO 2.- | Generalidades y principios de funcionamiento. | 25 |
| 2.1.- | Tipos de caldera y clasificación. | |
| 2.2.- | Equipo principal de los generadores de vapor. | |
| 2.3.- | Equipo auxiliar de los generadores de vapor. | |
| CAPITULO 3.- | Arranque inicial y operación de los Generadores de vapor. | 57 |
| 3.1.- | Inspección de calderas. | |
| 3.2.- | Montaje de la caldera. | |
| 3.3.- | Prueba hidrostática. | |
| 3.4.- | Secado del refractario. | |
| 3.5.- | Hervido ó lavado químico. | |
| 3.6.- | Lavado ácido. | |
| 3.7.- | Dilución. | |
| 3.8.- | Neutralización. | |
| 3.9.- | Pasivación. | |
| 3.10.- | Preservación. | |
| 3.11.- | Preparativos para poner en servicio la caldera -- después del lavado ácido. | |
| 3.12.- | Reglas preoperacionales para operación. | |
| 3.13.- | Encendido inicial de la caldera. | |
| 3.14.- | Operación normal de la caldera. | |
| CAPITULO 4.- | Combustión. | 104 |
| 4.1.- | Composición química de los combustibles en México. | |
| 4.2.- | Reacciones químicas de combustión. | |

| | PAG. |
|---|------------|
| 4.3.- Analisis de los gases de combustión. | |
| 4.4.- Efectos sobre los materiales de construcción de las calderas por los combustibles con altos contenidos de azufre, vanadio, sales de sodio y calcio. | |
| CAPITULO 5.- Tratamiento de agua. | 137 |
| 5.1.- Generalidades. | |
| 5.2.- Objeto del tratamiento de agua. | |
| 5.3.- Tipos de tratamiento y calidad de los efluentes | |
| 5.4.- Descripción de los equipos en el tratamiento de agua. | |
| 5.5.- Control y analisis del agua de la caldera. | |
| 5.6.- Concentraciones permisibles. | |
| 5.7.- Dosificación de ácido a torres de enfriamiento | |
| 5.8.- Cloración. | |
| 5.9.- Tratamiento de aguas negras. | |
| 5.10.- Problemas ocasionados por fallas del tratamiento | |
| CAPITULO 6.- Mantenimiento. | 236 |
| 6.1.- Generalidades. | |
| 6.2.- Programación y organización del mantenimiento. | |
| CAPITULO 7.- Analisis de fallas. | 277 |
| 7.1.- Materiales y tipos de tubos. | |
| 7.2.- Defectos. | |
| 7.3.- Roturas. | |
| 7.4.- Fallas en domos. | |
| 7.5.- Radiografías. | |
| 7.6.- Metalografía no destructiva. | |

- 7.7.- Pruebas ultrasónicas.
- 7.8.- Prueba de partículas magnéticas.
- 7.9.- Prueba de líquidos penetrantes.
- 7.10.- Inspección visual.
- 7.11.- Inspección por corrientes de Eddy.
- 7.12.- Medición de durezas.

CAPITULO 8.- Conclusiones.

Bibliografía.

INTRODUCCION

La producción de energía térmica fué uno de los primeros pasos del hombre en el campo de la técnica; se utilizó en forma relativamente rudimentaria hasta fechas muy recientes. Fué la utilización del vapor como fuerza motriz lo que hizo posible la revolución industrial del siglo XVIII y el desarrollo del generador de vapor de gran potencia, ha hecho surgir la era de electrificación del siglo XX.

La producción de vapor y energía térmica se ha convertido en una actividad práctica complicada. Ha pasado por un período de transición, en el que ha evolucionado con mucha rapidez, gracias a los esfuerzos desarrollados por los Ingenieros expertos en los campos de la térmica, en la de combustión y en la fuerza motriz.

El presente trabajo se ha concebido como complemento y esta dividido en varios capítulos que tratan los campos de teoría y estudios ya reconocidos.

Se describen los generadores de vapor, lo que son y como funcionan, se dan a conocer los tipos básicos y sus características. Se ha puesto atención a los detalles esenciales tales como quemadores y equipo para la combustión, accesorios para calderas y aparatos auxiliares, tratamiento de agua, mantenimiento y analisis de fallas.

Quiero aprovechar la ocasión para expresar profunda gratitud al señor Ing. Lubín Martínez Hernández, por sus valiosas sugerencias y útil colaboración para la realización de este trabajo.

J. Trinidad Romero Figueroa.

I.1.- ALGUNOS CONCEPTOS Y DEFINICIONES.

DEFINICION DE TERMODINAMICA.

Termodinámica es la rama de las ciencias físicas que trata los diversos fenómenos de la energía y las propiedades relacionadas de la materia, especialmente en lo que se refiere a las leyes de transformación de calor a otras formas de energía y viceversa. Ejemplos de tales transformaciones, son el proceso de convertir calor en trabajo, electricidad en calor (debido a una resistencia) trabajo en energía cinética, etc.

SISTEMA TERMODINAMICO.

Un sistema es aquella porción del universo, un átomo, una galaxia, cierta cantidad de materia o cierto volúmen del espacio, que uno desee estudiar. Es una región encerrada por "fronteras" específicas, las cuales pueden ser imaginarias, ya sean fijas o móviles. A toda la región que rodea el sistema, se le llama el "medio o los medios circundantes".

ESTADO TERMODINAMICO.

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. Se entiende por esto que todas las demás propiedades termodinámicas de las sustancias, tienen ciertos valores particulares siempre que la sustancia se encuentre en ese estado particular.

PROCESOS TERMODINAMICOS.

Es el mecanismo mediante el cual un sistema cambia de estado, este proceso se visualiza como una trayectoria entre dos puntos en el espacio y en particular si estos dos puntos coinciden, el proceso es un "ciclo".

"ciclo". Los procesos pueden ser reversibles ó "cuasi estático" ó -- irreversible ó "no cuasi estático".

PROPIEDAD TERMODINAMICA.

A cada sistema le podemos asociar un conjunto de atributos macroscópicos susceptibles de medirse experimentalmente y a los cuales pueden asignarse valores numéricos a estos atributos se les llama comunmente variables, o propiedades termodinámicas, como la temperatura, el volumen, la masa, la presión, etc.

La masa y la energía son comunes tanto a las partículas como a los -- sistemas; en tanto que el volumen, la presión y la temperatura son es pecíficos de los sistemas, consecuentemente el calor y el trabajo no son propiedades termodinámicas.

Las propiedades termodinámicas se pueden clasificar como sigue:

| | | | | | | |
|----------------------------|---|-------------|---|------------|---|-------------------|
| | { | PRINCIPALES | { | INTENSIVAS | { | INDEPENDIENTES |
| PROPIEDADES TERMODINAMICAS | { | SECUNDARIAS | { | EXTENSIVAS | { | NO INDEPENDIENTES |

Son propiedades principales aquellas que intervienen en la transmisión de energía; las propiedades Secundarias tales como el olor, la -- forma, etc, son las que no tienen ninguna relación importante en los procesos térmicos.

Las propiedades intensivas son las que son independientes de la masa (tamano) del sistema y no son aditivas, tales como la presión, la den sidad, la temperatura, etc.

Las propiedades extensivas son aquellas que son proporcionales a la -- masa (tamaño) del sistema, tales como el volumen, la energía interna, la entropía, etc.

VOLUMEN ESPECIFICO.

El volumen específico de una sustancia, 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 3 fases: Sólida, líquida y gaseosa ó vapor. Bajo una condición particular - las 3 fases pueden coexistir (punto triple).

SUSTANCIA SIMPLE.

Es aquella cuyo estado termodinámico se puede definir sólo por dos propiedades independientes (P, T)

SUSTANCIA PURA SIMPLE COMPRESIBLE.

La característica principal de esta sustancia, es la de producir trabajo mediante la variación de volumen.

FASE.

Una fase se define como una cantidad de material homogénea en todas sus partes.

ENERGIA INTERNA.

La energía interna la constituyen las diferentes formas de energía no observables, tales como la energía de translación, rotación y vibración de las moléculas; así como las fuerzas de enlace y la energía de los electrones, ó dicho de otra manera es la energía que posee la materia en virtud de la - - - - -

velocidad y la posición relativa (estados cuánticos) de sus moléculas .

La cual se representa por U. La energía interna media de una molécula U será:

$$\bar{U} = \frac{U}{N_0} = \frac{3}{2} KT = \frac{1}{2} \frac{m V_{cm}^2}{g_c} \quad (\text{3 axes monoatómicas})$$

$$N_0 = 6.0225 \times 10^{23} \text{ moléculas/mol} \quad (\text{Número de Avogadro})$$

$$K = \frac{\bar{R}}{N_0} = 1.3805 \times 10^{-16} \frac{\text{erg}}{\text{molécula} \cdot \text{K}} = \frac{8.3143 \times 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{mol} \cdot \text{K}}}{6.0225 \times 10^{23} \frac{\text{moléculas}}{\text{mol}}} \quad (\text{Constante de Boltzmann})$$

\bar{R} = Constante Universal

$$\bar{R} = 1.986 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg mol} \cdot \text{K}} = 1.786 \frac{\text{Btu}}{\text{lb mol} \cdot \text{R}}$$

$$V_{cm} = \text{Velocidad cuadrática media} = (\bar{v}^2)^{1/2} = 1.2248 V_{mp}$$

V_{mp} = Velocidad más probable.

TRABAJO.

Es el primer procedimiento mediante el cual puede variar la energía interna de un sistema. Si el cambio de energía interna de un sistema, sólo es consecuencia de la acción de trabajo, entonces a este trabajo se le llama "Trabajo Adiabático".

$$U_f - U_i = - W_{if} \text{ (Adiabático) ----- (Ec. 1)}$$

En donde el signo es tal que si el sistema da trabajo, su energía disminuye.

CALOR.

Es el segundo procedimiento mediante el cual se puede variar la energía interna. Así tenemos que: "cuando un sistema confinado en paredes diatérmicas está rodeado por un medio a diferente temperatura y en el sistema se desarrolla un proceso que involucra un trabajo entonces a la diferencia entre el cambio de energía interna y el trabajo dado, se le llama calor", esto es :

$$(U_f - U_i) - (-W) = Q$$
$$Q = U_f - U_i + W \text{ ----- (Ec. 2)}$$

o bien de la Ec. (1) tenemos :

$$U_f = U_i + W_{if} = 0$$

Cuando

$$U_f - U_i + W_{if} \neq 0$$

entonces W_{if} no es adiabático y podemos escribir

$U_f - U_i + W = Q$ que es la misma Ec (2), que no es otra cosa que la formulación de la primera ley, la cual para recordar el signo la podemos escribir así $U_f - U_i = Q - W$ y podemos pensar -- que el sistema es un "banco" en el que $Q =$ depósitos y $W =$ retiros.

El calor se transmite por conducción o radiación o por ambos.

TEMPERATURA TERMODINAMICA.

Es una propiedad de la substancia que viene a adquirir el mismo valor cuando dos sistemas alcanzan el equilibrio térmico.

TEMPERATURA EMPIRICA.

Es una escala arbitraria que se utiliza para cuantificar la propiedad anterior y es independiente de la naturaleza de la substancia.

EQUILIBRIO TERMICO.

Se dice que dos sistemas están en equilibrio térmico, cuando puestas en contacto a través de una pared diatérmica no existe transmisión de -- energía en forma de calor, durante un tiempo finito.

LEY CERO DE LA TERMODINAMICA.

Si dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto entre si y ambos se aíslan del medio ambiente, las propiedades de los cuerpos -- (temperatura, volumen, etc) variarían. Sin embargo al transcurrir de -- determinado tiempo las propiedades dejan de variar. Cuando esto ocurre se dice que los cuerpos han alcanzado su equilibrio térmico.

Si dichos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, se encontrarán en equilibrio térmico entre si.

PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA.

El principio de la conservación de la energía constituye la primera ley de la Termodinámica, la cual dice 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 siguiente manera :

Calor absorbido por el Sistema =
Aumento de su energía interna + Trabajo efectuado por el sistema; esto es :

$$Q = U_f - U_i + W \text{ ----- (Ec 3)}$$
ENTALPIA.

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:

$$h = pv + u \text{ ----- (ec. 4)}$$

CALOR ESPECIFICO.

El calor específico de una sustancia se define por la cantidad de calor que entra o sale de una unidad de masa cuando en ésta varía un -- grado su temperatura.

En forma adimensional queda expresado :

$$c = \frac{\text{Calor (Unid. de energía)}}{\text{Masa x cambio de temperatura}}$$

Hay 2 procesos cuyos calores específicos son especialmente importantes y útiles, uno a volumen constante $C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$ y otro a presión constante $C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p$

SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA.

La segunda ley es una consecuencia de la experiencia y de la lógica --

la cual se funda en el trabajo de Carnot. Desde el punto de -
vista macroscópico Kelvin - Planck la definió de la siguiente ma-
nera: Es imposible construir una máquina con un solo depósito-
de calor que, mientras funcione siguiendo un ciclo, produzca -
otros efectos que el de realizar trabajo a base de tomar calor-
de dicho depósito enfriándolo.

El resultado neto de cualquier proceso real es un aumento de la
entropía del sistema y de sus medios circundantes considerados-
en conjunto, o sea, la entropía de un sistema aislado aumenta -
o permanece la misma si sus procesos son reversibles.

Ninguna máquina ó motor real ni ideal que funcione siguiendo ci-
clos puede convertir en trabajo todo el calor que se suministra
a la substancia de trabajo; ésta tiene que descargar o ceder -
parte de su calor al medio ambiente que la rodea. Debido a -
este aspecto, la segunda ley también se conoce por ley de la de-
gradación de la energía.

ENTROPIA.

Un proceso irreversible es aquel en que hay un aumento de entropía
considerando el sistema y a su medio, de acuerdo con la se-
gunda 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 crecien-
te, y además, que el cambio de entropía es una medida de la -
cantidad de energía que se vuelve no disponible ($T_0 \Delta S$).

Desde el punto de vista macroscópico, se define como:

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

$\Delta S > 0$ Proceso irreversible

$\Delta S = 0$ 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".

$$S = K \ln W$$

K = cte. de Boltzman

W = es el macroestado más probable.

La entropía puede emplearse con otras propiedades (T, P, V, U, y 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 Mollier. 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 (vapor de agua, amoníaco y freón).

1.2.- PROCESOS TERMODINAMICOS.

Ciclos de fuerza de vapor.

CICLO TERMODINAMICO.- Decimos que una substancia de trabajo experimenta un ciclo, cuando dicha substancia pasa por varios Procesos ó cambios, volviendo finalmente a su estado inicial.

(Todas sus propiedades tienen el mismo valor que al iniciarse el ciclo).

ELEMENTOS DE UN CICLO: Los elementos esenciales de un ciclo termodinámico son:

- 1) Una substancia de trabajo que consiste en un medio para recibir y rechazar o ceder energía.
- 2.- Una fuente calorífica o depósito de calor, dentro del cuál se añade calor a la substancia de trabajo.
- 3.- Un sumidero de calor o cuerpo frío, que es un cuerpo al cual la substancia de trabajo rechaza o cede calor.
- 4.- Un motor o máquina en el cual la substancia de trabajo puede realizar trabajo, o bién, recibir el que se haga sobre ella.

EL CICLO DE CARNOT.- El ciclo de Carnot, consiste en dos procesos isotérmicos y dos isentrópicos, ver plano S-T (Fig. 1).

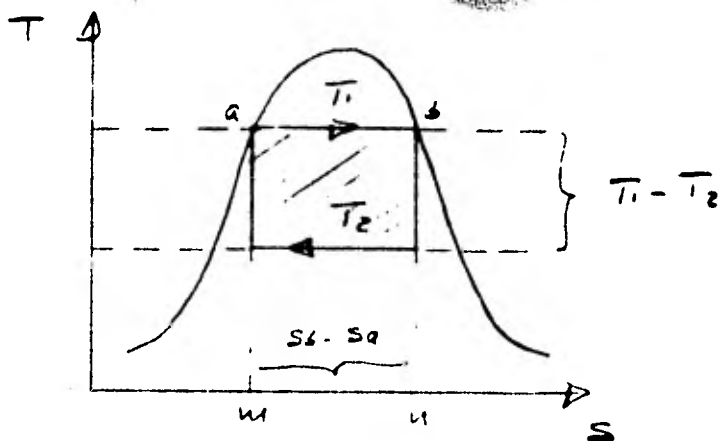


FIG: 1

Principiando en el punto a, encontraremos que:

- 1.- El calor se toma del depósito de calor y se añade lo largo del proceso isotérmico (de a - b) a temperatura constante.
- 2.- La substancia se expande a lo largo de un proceso isentrópico (de b-c) durante el cuál no se añade ni se extrae energía en forma calorífica.
- 3.- El calor es rechazado o cedido al depósito frío a temperatura constante a lo largo de (c-d).
- 4.- La substancia se comprime isentrópicamente a lo largo de - (d - a) hasta el punto inicial.

NOTA: El problema principal del ciclo, es la mezcla de agua y vapor, y que ninguna bomba puede manejarla y entregarla como líquido saturado.

Si las temperaturas son termodinámicas, tenemos que:

$$ds = \frac{dq}{T}$$

$$dq = T ds$$

Integrando tenemos que:

$$Q = T ds$$

Aplicando la 1a. ley:

$$dq = dw$$

$$Q_h - Q_r = W_t - W_b$$

El rendimiento térmico: $\eta_c = \frac{W_{net}}{Q_r} = \frac{T_1 - T_3}{T_1}$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_3}{T_1}$$

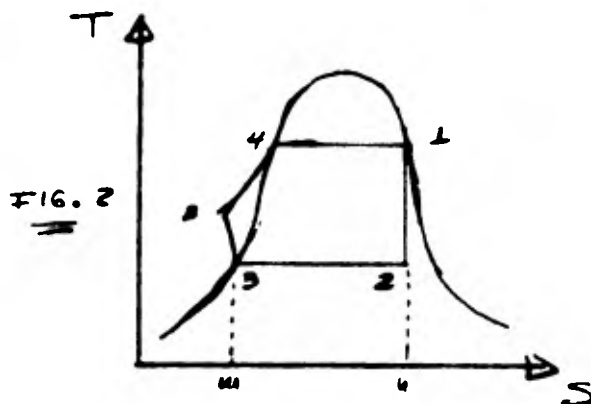
NOTA: La eficiencia del ciclo depende de la temperatura máxima (T_{max}) y temperatura mínima (T_{min}) más no de la mezcla de trabajo.

EL CICLO DE RANKINE.

El ciclo de Rankine o ciclo de expansión completa, fué el primer estandar de comparación aceptado para las plantas-productoras de potencia a base de vapor, frecuentemente se usa como tal en la actualidad.

Esta planta ideal consta de un generador de vapor que recibe agua de alimentación a presión de una bomba, de un motor, en el cual se puede producir el trabajo de expansión, y un condensador para convertir el vapor del escape en líquido, listo para bombearse.

La figura 2, muestra los procesos en el plano (T-S)



El vapor sale de la caldera - en el estado (1), se expande isentrópicamente para producir trabajo en un proceso adiabático y reversible - en el estado (2) y pasa al condensador (ó a la atmósfera) El agua circulante condensa - el vapor hasta líquido. saturado en (3) desde cuyo estado es bombeado isentrópicamente para introducirlo en la caldera en un estado (B) en forma de líquido subenfriado.

El líquido comprimido en (B) se calienta hasta que se vuelve saturado en el estado (4), después de lo cual se evapora transformándose en vapor en (1), y el ciclo principia nuevamente.

El líquido comprimido en (B) se calienta hasta que se vuelve saturado en el estado (4), después de lo cual se evapora transformándose en vapor en (1), y el ciclo principia nuevamente.

En la figura 3, se muestra el diagrama de energías para una planta o central de potencia por vapor.

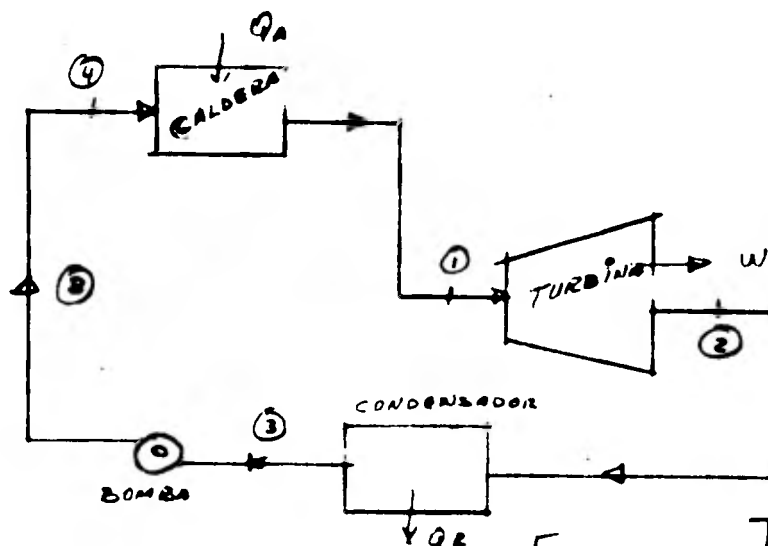


FIG. 3

El calor añadido $Q_A = h_1 - h_B \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg.}} \right]$ ----- 1

representado en el plano (ST) por el área $[m - B - 4 - 1 - 2 - n]$

y el calor rechazado $Q_R = h_2 - h_3 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg.}} \right]$ ----- 2

representado por el área $[n - 2 - 3 - m]$ (figura 2)

y $W \text{ neto} = Q_A - Q_R = h_1 - h_2 + h_3 - h_B$

el cual en la figura 2, representa el área $[1 - 2 - 3 - B - 4]$

La eficiencia de este ciclo de vapor de Rankine, despreciando el trabajo de la bomba.

$$\eta_R = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3}$$

donde $(h_1 - h_2)$ es la transformación de trabajo térmico ideal de una expansión isentrópica.

h_{f3} = Calor del líquido a la presión del escape.

La eficiencia térmica real de un ciclo de vapor, basada en el ciclo de Rankine, da la siguiente ecuación:

$$\eta_t = \frac{641}{w(h_1 - h_f)} ; \text{ donde:}$$

w = consumo de vapor

h_f = calor del líquido del fluido que entra al generador de vapor.

CICLO CON RECALENTAMIENTO.

Los procesos de trabajo adiabático, que se producen en las toberas de vapor, máquinas y turbinas implican que la energía mecánica que aparece es producto del calor contenido en el vapor. Dicho vapor recalentado perderá su recalentamiento y se hará cada vez más húmedo al proseguir su expansión a presiones más bajas.

La humedad que se produce en el vapor es perjudicial para la turbina.

El recalentamiento se lleva a cabo construyendo la turbina de forma que pueda extraérsele el vapor en el punto adecuado, se vuelva a recalentar, y luego se introduzca en las etapas siguientes para proseguir su expansión.

En la fig # 4 se muestran los procesos del ciclo con recalentamiento en el diagrama T-S

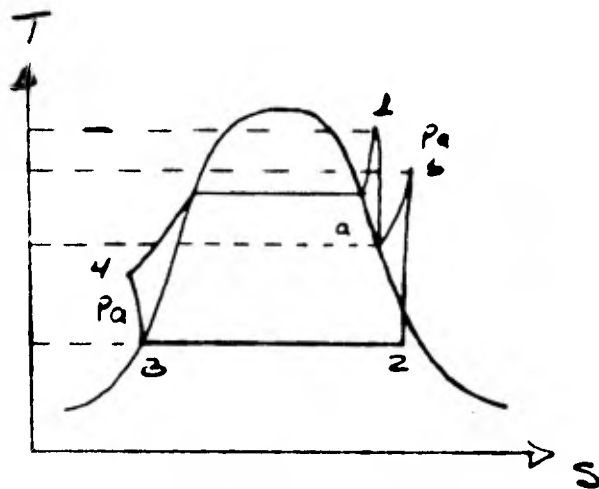


FIG: 4

Es conveniente utilizar - solo 2 ó 3 recalentadores como máximo, ya que sería incostruible aumentar más equipo y tubería.

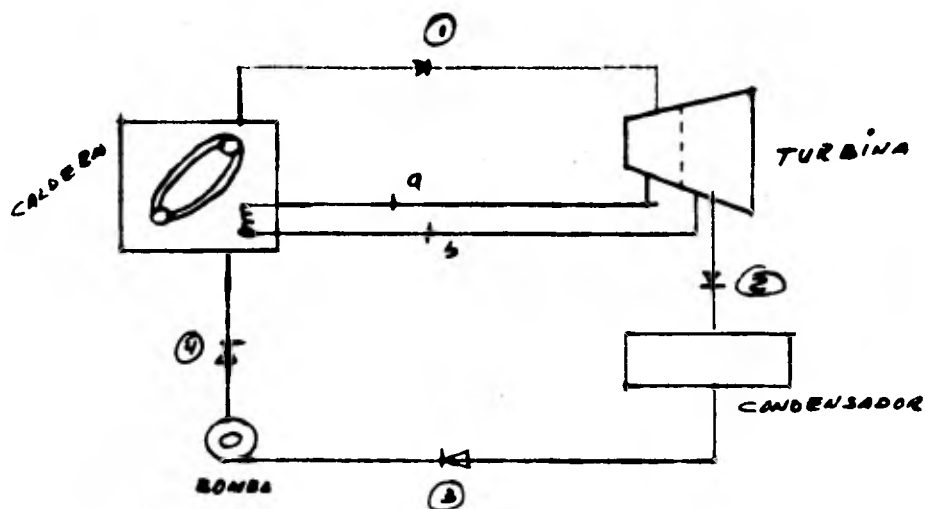


Diagrama de flujo del ciclo con recalentamiento.

La eficiencia del ciclo es:

$$\eta_{\text{rec}} = \frac{W_n}{Q_H} = \frac{(h_1 - h_a) + (h_2 - h_b) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4) + (h_b - h_a)}$$

$$\eta_{\text{rec}} = 1 - \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_4) + (h_b - h_a)}$$

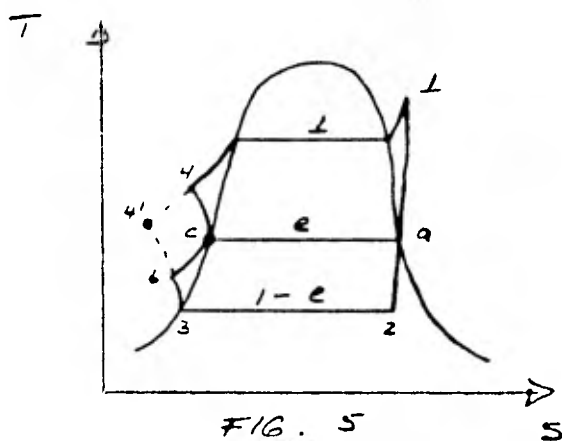
CICLO REGENERATIVO.

Este ciclo es más eficiente que el ciclo de Rankine, para las mismas condiciones del vapor.

Su característica principal, consiste en una regeneración térmica del agua condensada, convirtiéndola en agua de alimentación de temperatura elevada, usando vapor extraído de la turbina en puntos intermedios entre la entrada de vapor y el escape.

La ventaja de este ciclo sobre el de Rankine radica en que el vapor para calentar, al extraerse de la turbina, ya ha desarrollado una cantidad considerable de trabajo mecánico, pero aún conserva la mayor parte de su capacidad para calentar el agua de alimentación.

En la figura # 5 se muestran los procesos del ciclo regenerativo en el diagrama T - S .



La eficiencia del ciclo es:

$$\eta = \frac{W_T}{Q_s}$$

$$\eta = \frac{(h_1 - h_a) + (1-e)(h_a - h_2)}{h_1 - h_4} - W_{B1} - W_{B2}$$

en donde

W_B = trabajo de la bomba.

$$W_{B1} = 1 - e (h_b - h_3)$$

$$W_{B2} = e (h_4 - h_c)$$

Sustituyendo W_{B1} y W_{B2} en η

$$\eta_{Reg} = 1 - \frac{(1-e)(h_3 - h_2)}{(h_1 - h_4)}$$

FLUIDOS DE TRABAJO.

En la mayoría de las máquinas generadoras de energía o potencia, se utiliza el fluido de trabajo en el cual la energía - puede ser almacenada o cedida por el mismo fluido.

Un ejemplo de este fluido es el aire, vapor de agua o amoníaco.

Dicha substancia de trabajo sufre una serie de operaciones - como son :

Calentamiento.

Expansión.

Refrigeración.

Compresión., al terminar dichos procesos la substancia vuelve a su estado original siendo usadas una y otra vez.

II.1 TIPOS DE CALDERAS, CLASIFICACION.

INTRODUCCION.

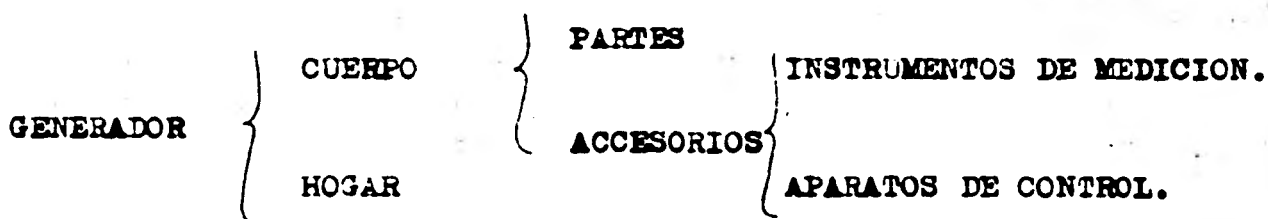
La utilización del vapor como fluido de trabajo, ya sea para transmitir calor o para producir trabajo mecánico (expandiéndolo en una turbina), es muy común debido a su alta capacidad térmica, la facilidad que presenta para su manejo y la disponibilidad de grandes cantidades de agua a muy bajo costo.

En la actualidad los ciclos de vapor son usados en procesos industriales en los que se requiere transmisión de calor a temperatura constante, en la generación de energía eléctrica, así como en hoteles, hospitales, etc.

DEFINICION:

El generador de vapor antiguamente llamado caldera, se define como un recipiente hermético sujeto a presión, con un líquido en su interior, generalmente agua que evapora a partir del calor que cede algún combustible al quemarse, elevando su presión y temperatura sobre la temperatura atmosférica.

COMPONENTES DEL GENERADOR.



Los generadores de vapor están compuestos de cuerpo y hogar, el hogar, es el lugar del generador donde se produce la combustión entendiéndose por combustión la ignición de un combustible, este lugar del generador es en consecuencia la parte más caliente del generador.

El cuerpo es un conjunto de componentes divididos en partes y -- accesorios, se llaman partes del generador al subconjunto de componentes que son estrictamente indispensables para producir vapor, como envolventes, fluxes, espejos, etc. El subconjunto de accesorios está formado por los instrumentos de medición, como manómetros y termómetros y los aparatos de control que automatizan la operación.

CLASIFICACION GENERAL DE LAS CALDERAS.

Las calderas pueden ser clasificadas de la siguiente forma:

- a) Por la posición relativa de los gases calientes, el agua y el vapor:

Calderas de tubos de humo o pirotubulares.

Son aquellas en donde el fuego o gases calientes circulan por el interior de los tubos y el agua por el exterior.

Calderas de tubos de agua o acuotubulares.

Son aquellas en donde el agua circula por el interior de los tubos y el fuego o gases calientes por el exterior.

- b) Por la posición de los tubos:

Las calderas de tubos de humo, se subclasifican por la posición de los tubos como horizontales, verticales e inclinados, pudiendo 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:

Las calderas de tubos de agua, se subclasifican por la forma de los tubos, como tubos rectos y curvos.

Los de tubos rectos se caracterizan por los tubos externos apoyados por cabezales transversales al domo de lodos.

Los de tubos curvos están soportados por el domo de vapor en la parte superior y el domo de lodos en la parte inferior.

d) Dependiendo del tipo de tiro:

TIRO NATURAL. Cuando los gases de combustión se extraen del generador mediante una chimenea de altura y diámetro calculado para que por diferencia de temperatura 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 para una buena combustión.

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 e introduce aire a presión, -- forzando la salida de los gases.

TIRO INDUCIDO. Los gases son desalojados por un extractor colocado en la entrada de la chimenea o en la caja de humo, el -- cual imprime velocidad a la salida de los gases induciéndose -- así el tiro.

TIRO BALANCEADO. Se obtiene con ventiladores de tiro forzado e inducido.

e) Por la naturaleza del servicio que prestan:

FIJOS. Los que se instalan en un determinado lugar.

TEMPORALES. Similar a los anteriores, sin lugar determinado -- para su instalación trabajan como fijos por temporadas.

LOCOMOVILES. Son aquellos generadores que se usan para proporcionar fuerza motriz de desplazamiento, como las locomotoras y barcos de vapor.

PORTATILES. Son los generadores de vapor instalados en plataformas rodantes y se usan para venta de vapor cuando se requiere reparar equipo fijo o por incremento temporal de demanda. Los generadores de vapor se clasifican por su ubicación como urbanos y rurales, esta clasificación es de seguridad y está relacionada con la capacidad técnica del personal que opera el generador o batería de generadores.

Capacidad de producción de vapor en las calderas.

La capacidad de una caldera de vapor se expresa más concretamente en forma de calor total transmitido por las superficies de calefacción en Kca/hr.

La producción de la caldera medido por el calor absorbido por el agua y vapor es:

$$Q = M_s (h - h_f) \quad \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \quad \text{Ec 1}$$

Q = producción de la caldera.

M_s = peso del vapor producido por la caldera (o bien recalentado) (Kg/hr)

h = entalpia de un Kg de vapor a la presión y título o temperatura observadas (Kcal/Kg)

h_f = Entalpia del líquido de un Kg. de agua de alimentación en las condiciones en que dicha agua llega a la caldera (o economizador) en (Kcal/Kg)

Capacidad nominal de una caldera:

La capacidad de las calderas se determina en caballos caldera - (B H P) = Boiler Horse Power y se define como la cantidad de energía necesaria para evaporar 15.66 Kg/hr de agua a 100°C, a una presión de 1.033 Kg/cm².

$$1 \text{ BHP} = 8450 \text{ Kcal/hr} = 0.93 \text{ m}^2 \text{ de superficie de calefacción.}$$

$$\text{CN} = \frac{\text{Sup. Calef. m}^2}{0.93 \text{ m}^2/\text{BHP}} = \frac{\text{Sup. Calef}}{0.93} \times 8450 \text{ Kcal/hr}$$

Capacidad real.

La capacidad real esta dada por:

$$CR = CN \times Psc$$

Psc = factor de sobrecarga o excedente.

Eficiencia de la caldera:

Se define como la relación del calor Q_a que se aprovecha, o sea el que toma el fluido desde que entra como agua hasta que sale como vapor entre el calor Q_s dado por la oxidación del combustible dentro del horno.

$$N = \frac{Q_a}{Q_s}$$

donde $Q_s = G_c \times PCA$ (Kcal/hr)----- Ec. 2

G_c = gasto de combustible.

PCA = poder calorifico alto del combustible.

y $Q_a = G_v (h_2 - h_1)$ -----($\frac{Kcal}{hr}$) ----- Ec. 3

G_v = gasto de vapor.

h_2 = entalpia del vapor a la salida.

h_1 = entralpia del agua a la entrada de la caldera.

Equivalente de vaporización

Es la relación entre el calor total absorbido por el agua de alimentación de la caldera y el calor necesario para evaporar un - Kg de agua a la presión atmosférica al nivel del mar (1.033 Kg/cm²)

$$Ev = \frac{G_v (h_2 - h_1)}{543.4}$$

NOTA: La entalpia de vaporización = $543.4 \frac{Kcal}{Kg}$

FACTOR DE VAPORIZACION.

Es la relación entre el calor absorbido por un Kg. de agua de alimentación de la caldera y el calor necesario para evaporar un Kg. de agua a la presión atmosférica al nivel del mar (1,033 Kg/cm²).

$$F_v = \frac{h_2 - h_1}{543.4}$$



II.2.- EQUIPO PRINCIPAL DE LOS GENERADORES DE VAPOR.**II.2.a HOGAR.****II.2.b SOBRECALENTADORES.****II.2.c RECALENTADORES.****II.2.d ATEMPERADORES.****II.2.e ECONOMIZADORES.****II.2.f PRECALENTADOR Y CALENTADOR DE AIRE.****II.2.a.- HOGAR.**

El hogar es el recinto donde se realiza la combustión, normalmente las paredes de éste están formadas por tubos por los cuales circula el agua.

El calor que se obtiene de la combustión es transmitido de la flama a los tubos por radiación y convección, pasa a través del metal de los tubos por conducción y por último se difunde en el agua por convección.

II.2.b.- SOBRECALENTADORES.

Los 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 generadora al que se le inyecta vapor saturado de la misma caldera; de modo que el vapor 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 saturación, recibe el nombre de sobrecalentamiento.

La temperatura agregada se llama el 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 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.

Los sobrecalentadores de radiación están expuestos al calor radiante del fogón.

En los sobrecalentadores combinados, un aumento en la absorción de calor radiante, reducirá la temperatura de salida del fogón con una disminución resultante en la absorción por convección y viceversa.

En la figura # 1, se muestra el dibujo de una Caldera y la ubicación del sobrecalentador.

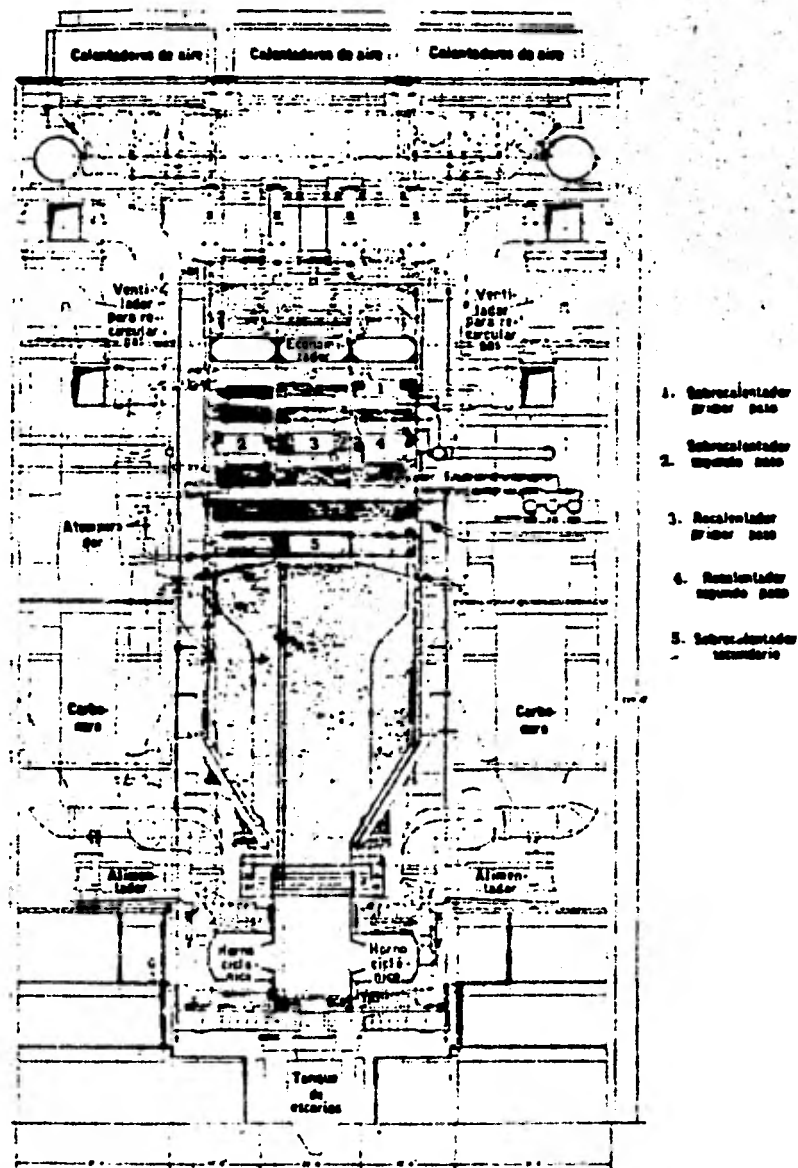


Fig. # 1.- Gran Unidad de presión supercrítica de horno ciclónico para alimentar una unidad de 450 mw.

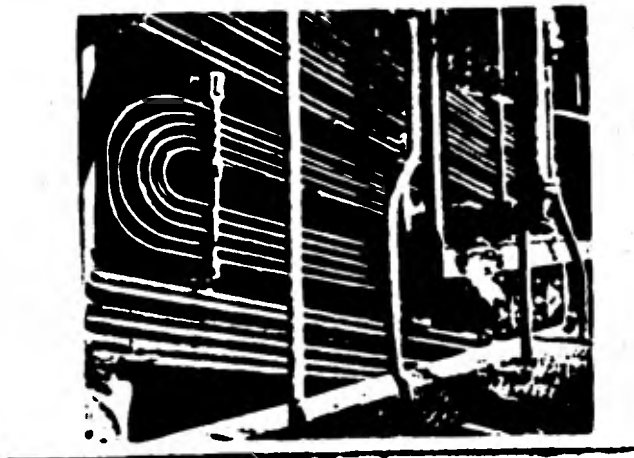


Fig. # 2.- Sobrecalentador Intermedio para una Caldera de tubos rectos horizontales.

Fig. # 3.- Sobrecalentador entre tubos del tipo Suspendido.

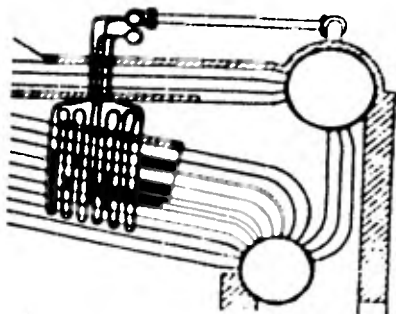
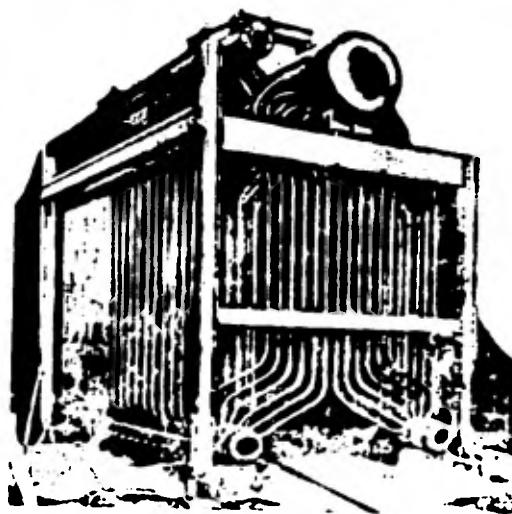


Fig. # 4.- Sobrecalentador entre tubos del tipo Colgante. Para una caldera de 3 domos.

II.2.c.- RECALENTADORES.

Los recalentadores son simples intercambiadores de calor destinados a transmitir energía adicional al vapor además de la que posee en el estado de saturación a una presión dada.

Hay dos métodos para recalentar el vapor, ambos utilizan el calor de los humos o 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 por radiación.

Ver Figuras Nos. 5 y 6.

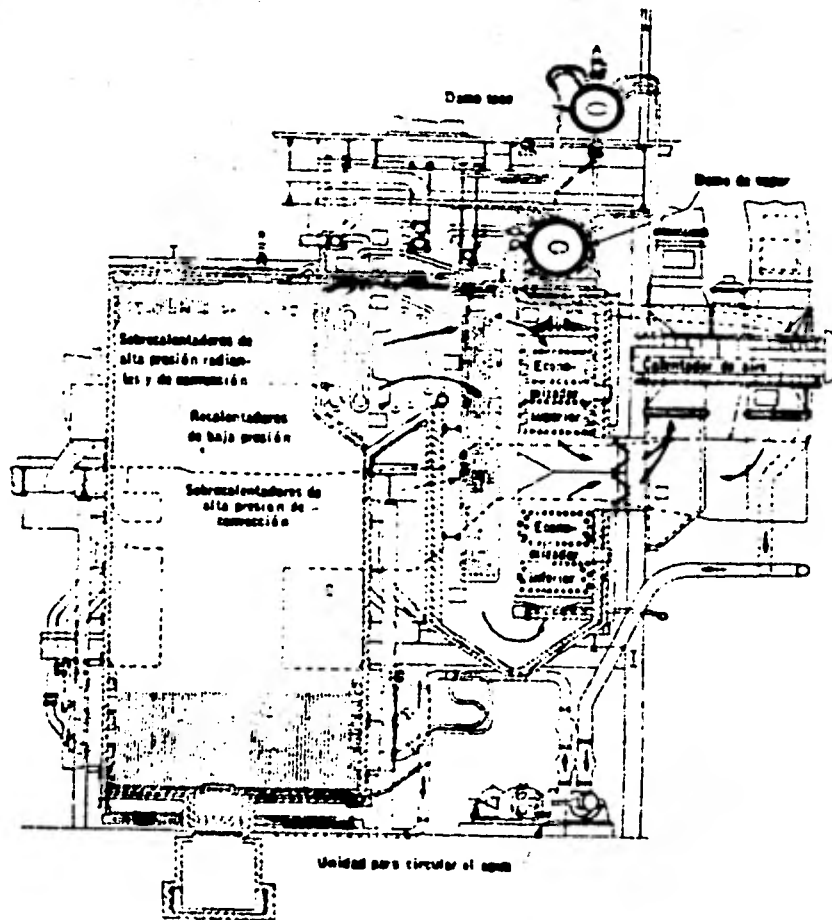


Fig. # 5.- Se muestra la figura de un Generador de Vapor en donde se aprecia el recalentador.

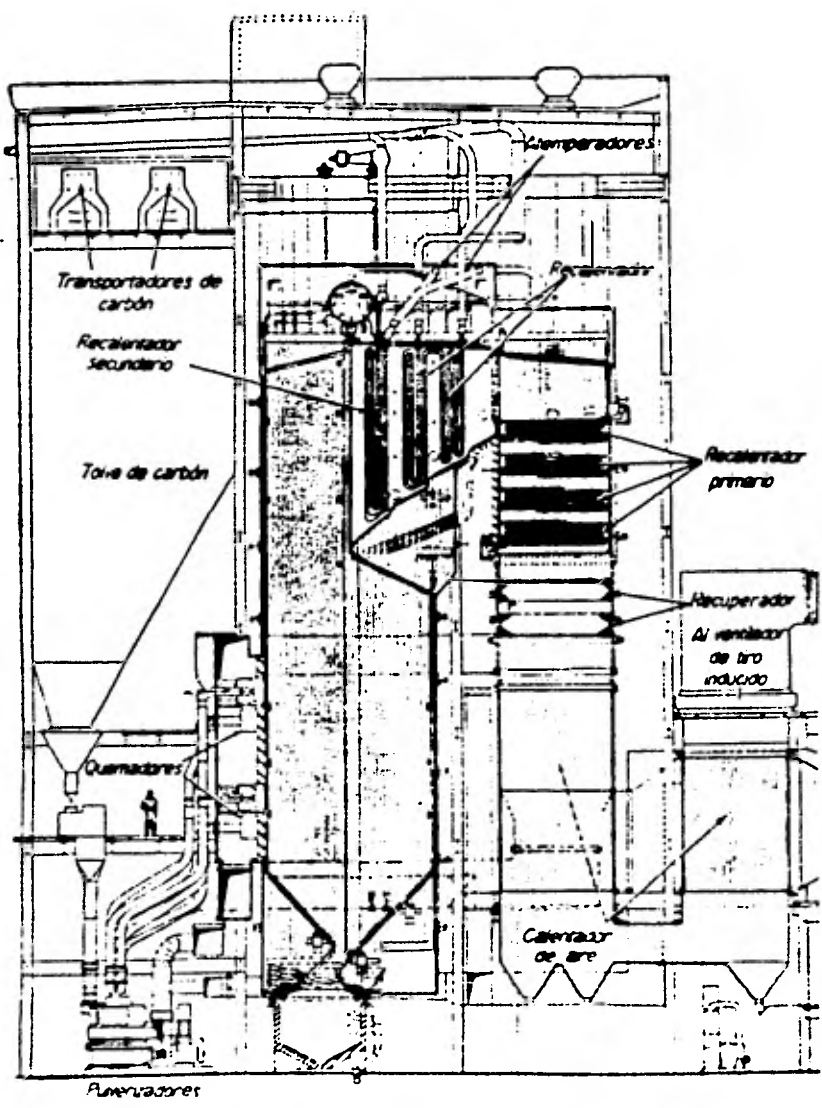


Fig. 6.- caldera B y W de una central térmica, con sus calentadores primario y secundario.

II.2.d.- ATEMPERADORES.

El atemperador 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.

Si el atemperador es utilizado exclusivamente para vapores sobrecalentados, recibe el nombre de sobrecalentadores.

La selección de un atemperador para una instalación determinada se rige por el agua disponible para su empleo como medio de regulación de la temperatura.

El atemperador puede ser del tipo de contacto superficial (Conociendo también como tipo de intercambiador de calor, o de no contacto) o del tipo de contacto directo (o de atomización).

El atemperador del tipo de intercambio de calor, se subdivide en el de cabezal, tambor o tubos, así como el de tipo sumergido (o de domo).

NOTA: En las Figuras Nos. 7, 8, 9 y 10, se muestran algunos Atemperadores.

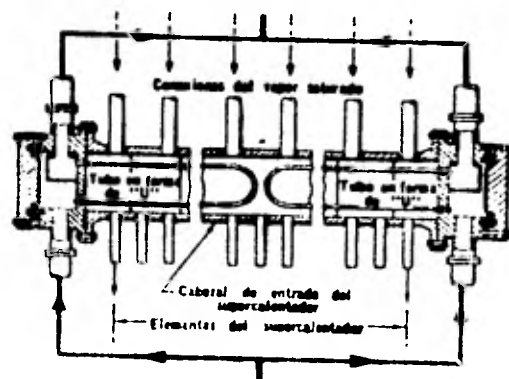


Fig. # 7.- Atemperador de Superficie del tipo de Condensación.

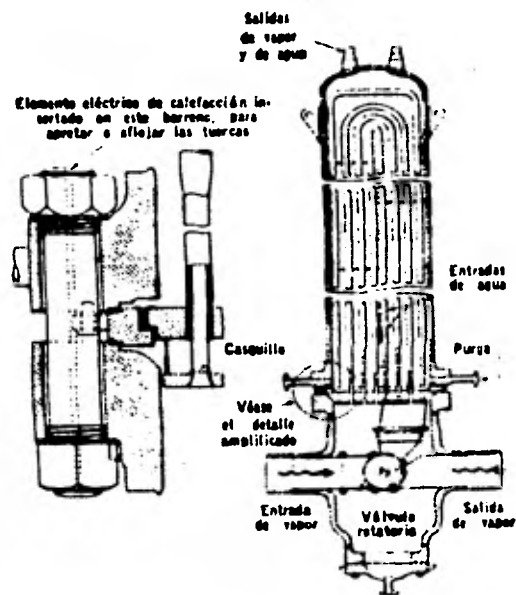


Fig. # 8.- Atemperador del tipo de Tanque e Intercambio de Calor.

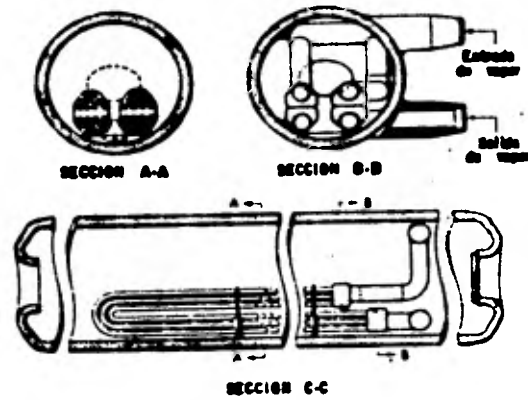


Fig. # 9.- Atemperador de intercambio de calor, tipo Domo.

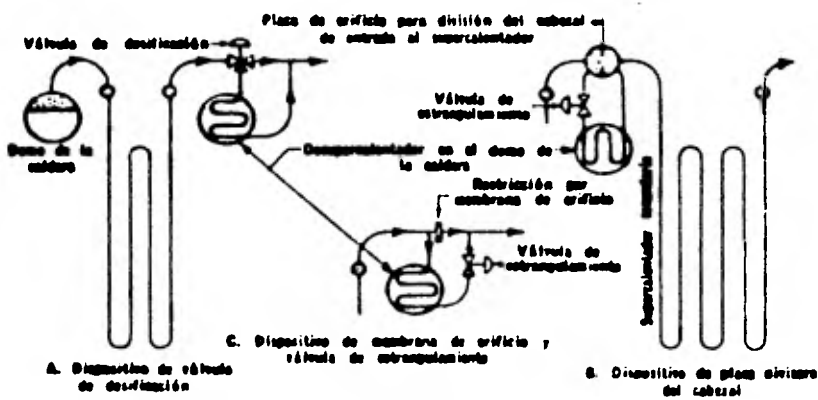


Fig. # 10.- Instalación de Atemperadores de condensación en Domo.

II.2.e.- ECONOMIZADOR.

El 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 agrega al del sistema, mejora la economía de la unidad y de este hecho se deriva su denominación de economizador.

El economizador está formado por una sección de tubos, a través de los cuales pasa el agua de alimentación justamente antes de inyectarla 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 de alimentación.

Como el agua de alimentación tiene al entrar al economizador 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.

Los economizadores son de 2 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 caldera de tubos curvados.

Aún cuando el economizador integral se emplea como el 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.

(Ver Figura # 11.)

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 la combustión fluyen transversalmente al eje longitudinal de los tubos.

(Ver Figura # 12.)

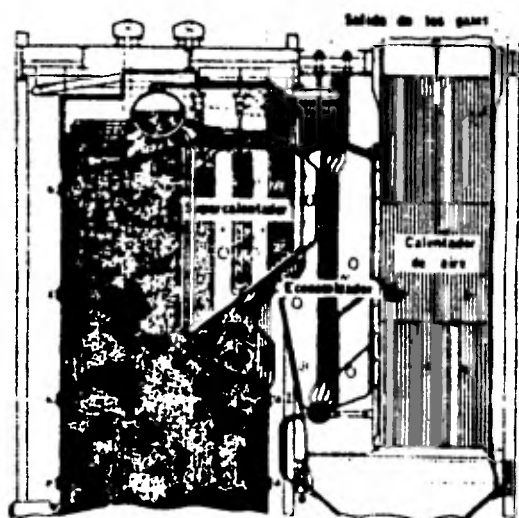


Fig. # 11.- Economizador Integral. De flujo transversal, dotado de mamparas de retorno múltiple

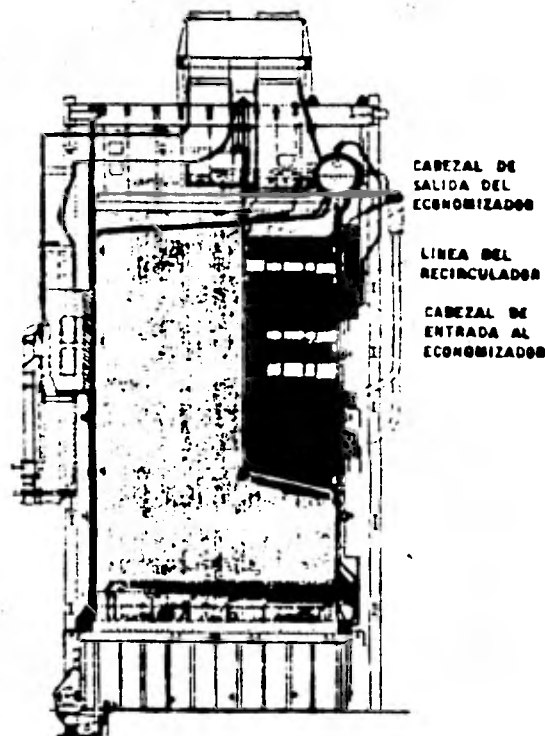


Fig. # 12.- Economizador de Flujo ascendente para una caldera de calor radiante.

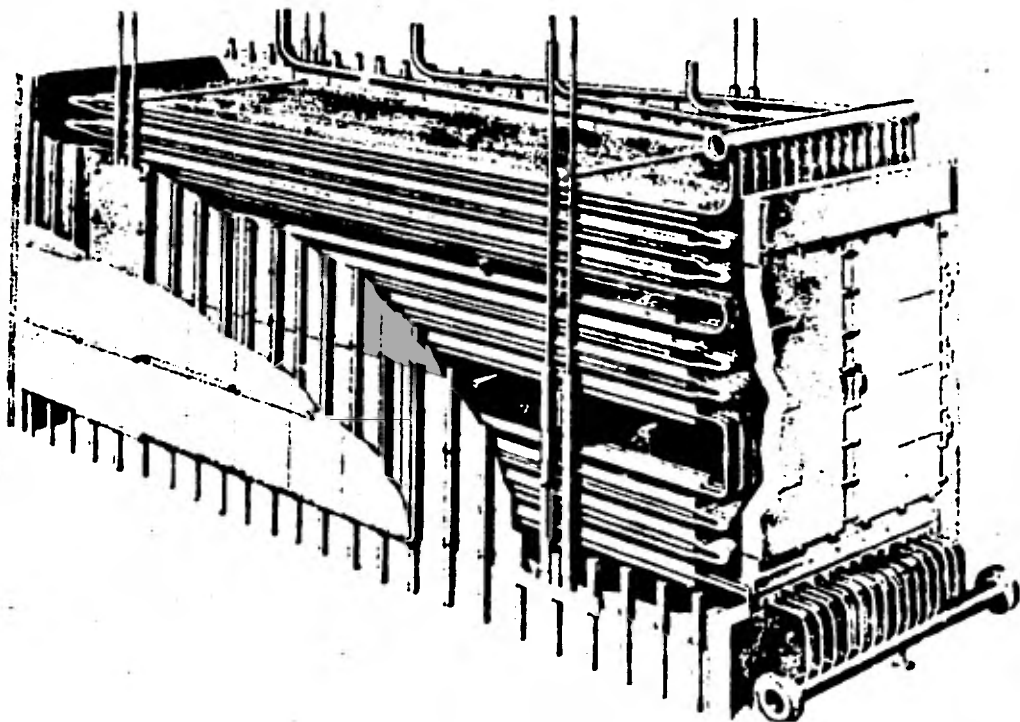


Fig. # 13.- Economizador de tubos continuos con aletas de refuerzo.

II.2.f.- PRECALENTADOR Y CALENTADOR DE AIRE.

El calentador de aire es un aparato que sirve, para calentar aire recuperando parte del calor de los gases que van a la chimenea. Este calor recuperado se agrega al aire requerido para la combustión o se usa para secado u otros procesos.

Las unidades empleadas para calentar el aire de la combustión en las plantas generadoras de vapor, se les designa con el nombre de precalentadores de aire.

El precalentador de aire se compone, en lo esencial, de una superficie de intercambio de calor instalada en el curso de la corriente de los gases de escape de combustión procedentes de la caldera, entre ésta y la chimenea, o entre el economizador (si lo hay) y la chimenea.

El aire para la combustión es calentado por los gases del escape, al ser empujado a través del calentador por medio de un ventilador de tiro forzado.

Los calentadores de aire son de dos tipos: Convección y Regenerativos. El tipo de convección se subdivide en Tubular y de placa.

En un calentador de aire del tipo de convección, el calor procedente de un fluido en movimiento (gases de escape, vapor, etc.) pasa a través de la superficie de intercambio de calor (separación por medio de metal), hacia el aire más frío (también en movimiento).

El medio de calefacción está completamente separado en todo momento, del aire que es calentado.

El calentador del tipo tubular, está formado por una batería de - tubos largos y rectos, de acero o de fierro colado, expandidos - dentro de espejos por ambos extremos y por una envoltura, provis- ta de aberturas de entrada y salida.

En este tipo se establece el principio de contracorriente.

Los gases calientes entran en los tubos por la parte alta y salen por el fondo. El aire frío entra por el fondo y fluye sobre la - superficie externa de los tubos y sale.

El calentador del tipo de placa consiste en una serie de placas delgadas, planas y paralelas, ensambladas en otras series de cel- das o pasos delgados y angostos, ensamblados convenientemente en- tre sí. (Ver Figura # 14.)

Los gases de la combustión y el aire pasan a través de espacios - alternados, con corriente en dirección contraria.

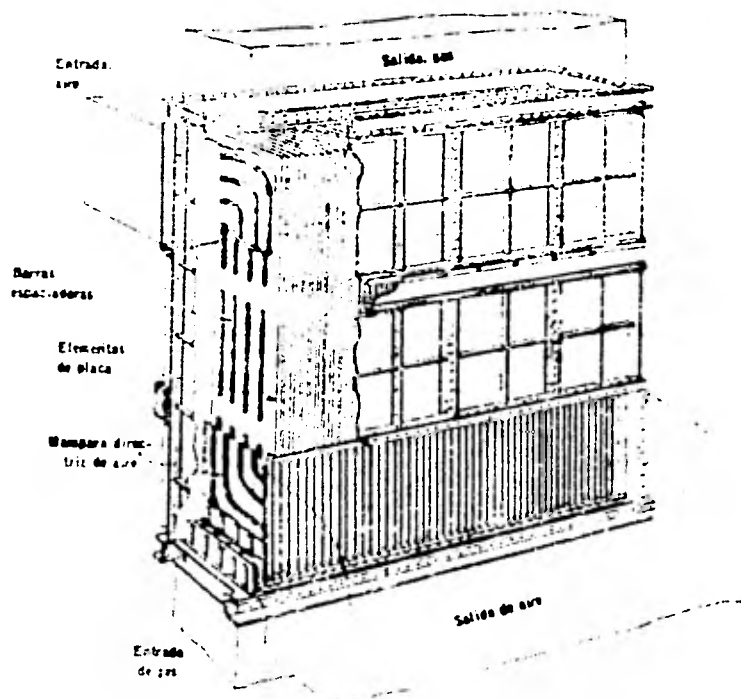


Fig. 14 Precalentador de aire de placas en que el paso de gas y aire están en contraflujo en pasos alternados. El espacio de los pasos ayuda al gas a estar en contacto con los elementos adyacentes

El calentador de aire del tipo regenerativo consiste en un laberinto metálico en forma de tambor que gira lentamente, de manera que alternativamente es calentado por los gases y enfriado por el aire. Como se muestra en la Figura # 15.

Los gases que van a la chimenea fluyen en sentido ascendente a través de la mitad del laberinto, y el aire inyectado por un ventilador desciende a través de la otra mitad.

Una junta divisoria evita que el aire y los gases se mezclen.

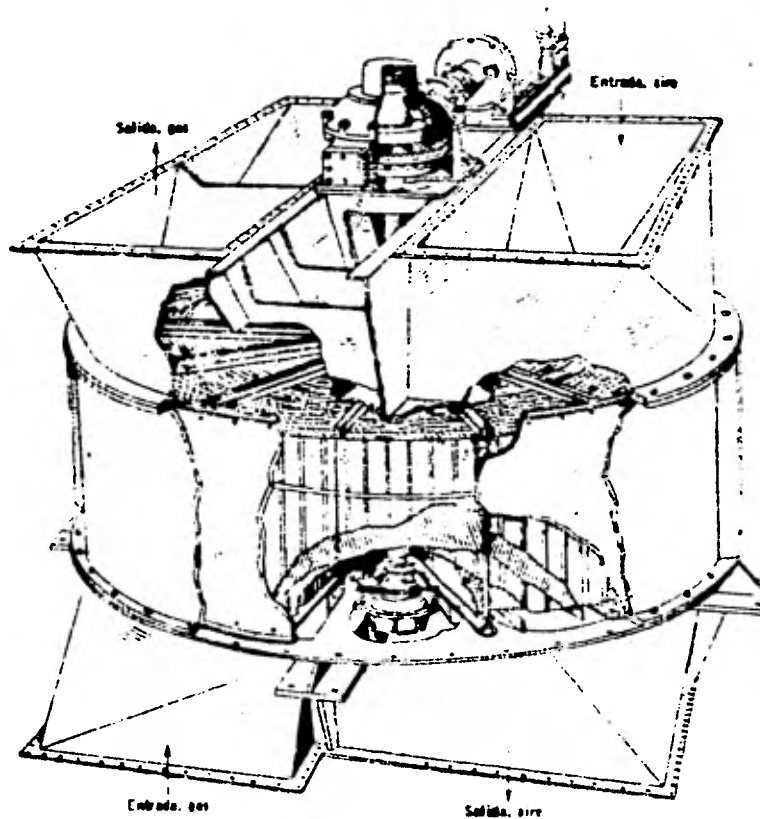


Fig. 15 Calentador de aire regenerativo cuya superficie de calentamiento es de laminillas de acero. Está dividida en dos partes la superior es removible y es el área sujeta a mayor corrosión

NIVEL DEL AGUA.

Los medios comunes para observar el nivel del agua dentro de los domos de la caldera consisten en columnas de agua - equipadas con mirillas de cristal; generalmente se instalan dos columnas para cada caldera.

Las columnas de agua, así como la tubería de interconexión deben ser sopladas y purgadas frecuentemente, para asegurar que las líneas estén limpias y las columnas muestren - el nivel correcto.

El soplado de las columnas y la tubería auxiliar es efectuado al inicio de cada turno y a su vez comprobando que - el nivel que se desea llevar en la caldera coincide con el nivel en el cristal. Es preferible conservar siempre esta relación en los niveles.

La tubería con vapor que va del domo a la columna de agua - y en si la columna, se dejan casi siempre desnudas sin aislamiento térmico a fin de incrementar la condensación del vapor y así mantener la tubería de agua y el cristal llenos de condensado caliente a una temperatura cercana a la del agua dentro del domo.

Si la diferencia de temperaturas obtenidas entre la columna y la caldera es considerable, se tendrán errores importantes en las indicaciones del nivel.

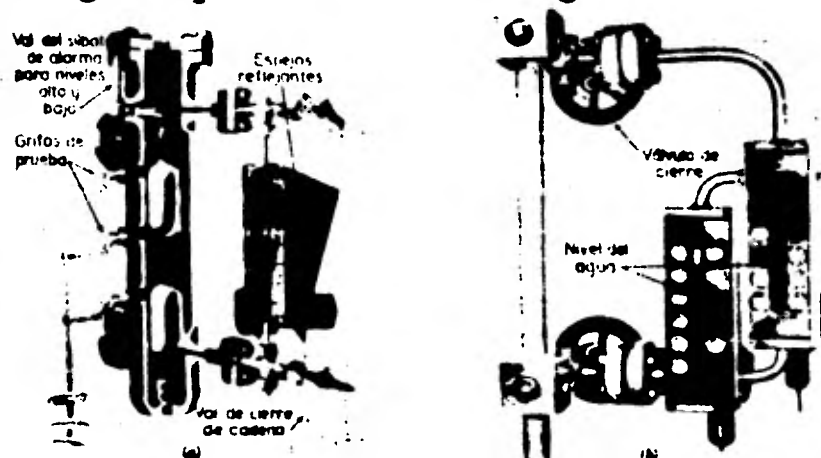
El alumbrado para las columnas de agua debe provenir de dos diferentes circuitos, con el fin de estar asegurado contra una falla de energía.

En las instalaciones donde se usen espejos para transmitir la imagen de la columna a través de una distancia considerable hasta el operador, es necesario que sean cuidadosamente alineados y fijados en posición permanente.

Frecuentemente se instalan alarmas para avisar la existencia de un nivel alto ó bajo en el registrador de nivel. En las calderas de baja presión existen flotadores en la columna de agua que pueden usarse para operar un silbato de alarma.

Dichos aparatos son de gran ayuda pero no debe dependerse por completo de ellos. Es necesario que el operador inspeccione constantemente la columna de agua en forma visual para asegurarse que el nivel del agua se mantiene correcto.

El nivel de agua representado en la Figura 1.



Está provisto de un dispositivo de alarma para denunciar los niveles alto y bajo. Su funcionamiento se basa en el desplazamiento de flotadores suspendidos de dos palancas; el conjunto se halla en equilibrio estático cuando el nivel del agua es el normal, estando entonces cerrada la válvula de alarma.

En el momento que varían estas condiciones se rompe el equilibrio, la válvula se abre y escapa el vapor, el cual hace funcionar el aparato de alarma ó silbato.

REGULADORES DEL AGUA DE ALIMENTACION:

La función del regulador del agua de alimentación, consiste en suministrar automáticamente a la caldera la misma cantidad de agua que se transforma en vapor, y como consecuencia mantener constante el nivel del agua en el domo de vapor de la caldera. Sin embargo, debido al efecto de expansión sobre el agua en la caldera, el flujo de vapor aumenta repentinamente y por lo consiguiente el nivel del agua puede subir algunas pulgadas aún cuando el flujo de agua esté interrumpido por completo. Se ha determinado que mediante la alimentación de agua fría, es posible mantener el nivel de agua bajo, al reducir las burbujas de vapor aún cuando la cantidad de agua en la caldera se incremente por el flujo extra de agua.

En la práctica se utilizan varios tipos de reguladores.

De flotador.

De expansión

e hidráulico.

Los reguladores de agua de alimentación más sencillos operan por un impulso directo desde un flotador colocado en una cámara conectada al domo de la caldera y calibrado normalmente al nivel del agua.

La caída de presión excesiva a través de la válvula reguladora, puede causar fuerzas desbalanceadas tan grandes que impidan al flotador accionar correctamente.

Se acostumbra instalar una válvula reguladora de presión, antes de la válvula de control de nivel para lograr mantener una presión diferencial razonable y constante a través de la válvula reguladora.

Hay otros reguladores que operan basados en el principio de expansión de un elemento térmico ó aumento de la presión de un tubo generador, el cual está expuesto a varias cantidades de calor dependiendo en el nivel relativo de agua y vapor en el elemento generador. Estos reguladores-

son sencillos y resistentes pero es necesario protegerlos -
contra un excesivo cambio de temperatura.

Las válvulas reguladoras que operan en combinación con calde-
ras de alta presión, son accionadas generalmente por una -
válvula piloto a fin de aumentar la fuerza y permitir a su -
vez la operación a control remoto. El medio de operación es,
por lo general, aire ó aceite a presión. Generalmente estas
válvulas están adaptadas para una operación manual remota -
con un dispositivo de candado, el cual opera en el caso de -
la pérdida de presión en el fluido de control.

Todos y cada uno de los operadores deben practicar la trans-
ferencia del control automático al manual con cierta frecuen-
cia, por lo menos una vez por semana.

También es conveniente el poner el regulador fuera de servi-
cio y controlar el nivel operando solamente la válvula de -
by pass tal y como se accionaria la válvula de regulación al
fallar.

Ahora en lugar de la válvula reguladora en la línea de alimen-
tación de la caldera, el nivel de agua puede controlarse va-
riando la velocidad de la bomba ó bombas. Mediante esto se
logra ahorrar parte de la energía requerida para bombear el-
agua, aunque con esto se obtiene que el control sea ligera-
mente más lento en un grado mayor o menor dependiendo del -
sistema de control usado para variar la velocidad, tal como
de vapor, eléctrico ó hidráulico.

NIVEL DE AGUA INCORRECTO.

Si el nivel de agua llegara a ser excesivamente alto debido -
a alguna dificultad con el regulador del agua de alimenta-
ción y hubiera el peligro de dañar las turbinas con un arrag-
tre de agua, la solución inmediata a hacer es parar las bom-
bas de alimentación, pero si las bombas no pueden ser arran-
cadas de nuevo rápidamente se hace necesario apagar los fue-
gos de la caldera.

REGULADORES DEL AGUA DE ALIMENTACION:

La función del regulador del agua de alimentación, consiste en suministrar automáticamente a la caldera la misma cantidad de agua que se transforma en vapor, y como consecuencia mantener constante el nivel del agua en el domo de vapor de la caldera. Sin embargo, debido al efecto de expansión sobre el agua en la caldera, el flujo de vapor aumenta repentinamente y por lo consiguiente el nivel del agua puede subir algunas pulgadas aún cuando el flujo de agua esté interrumpido por completo. Se ha determinado que mediante la alimentación de agua fría, es posible mantener el nivel de agua bajo, al reducir las burbujas de vapor aún cuando la cantidad de agua en la caldera se incremente por el flujo extra de agua.

En la práctica se utilizan varios tipos de reguladores.

De flotador.

De expansión

e hidráulico.

Los reguladores de agua de alimentación más sencillos operan por un impulso directo desde un flotador colocado en una cámara conectada al domo de la caldera y calibrado normalmente al nivel del agua.

La caída de presión excesiva a través de la válvula reguladora, puede causar fuerzas desbalanceadas tan grandes que impidan al flotador accionar correctamente.

Se acostumbra instalar una válvula reguladora de presión, antes de la válvula de control de nivel para lograr mantener una presión diferencial razonable y constante a través de la válvula reguladora.

Hay otros reguladores que operan basados en el principio de expansión de un elemento térmico ó aumento de la presión de un tubo generador, el cual está expuesto a varias cantidades de calor dependiendo en el nivel relativo de agua y vapor en el elemento generador. Estos reguladores-

Si el nivel de agua llega a ser muy bajo que no pueda verse en el cristal del nivel es necesario apagar los fuegos.

Si el nivel del agua desciende a un punto tal que algunas partes de la caldera que trabajen a presión se recalienten, entonces al alimentar con agua se puede tener una explosión.

Una de las razones frecuentes en la falta de suministro de agua a la caldera es la pérdida de alimentación de agua a la bomba, o de fuerza motriz.

VALVULAS DE SEGURIDAD.

Las válvulas de seguridad se emplean para impedir que en las calderas se desarrollen presiones de vapor excesivos que pudieran dañar a las calderas.

Estas válvulas abren automáticamente al presentarse una sobrepresión determinada dejando escapar el vapor a la atmósfera y cierran una vez que la presión decrece a ciertos límites.

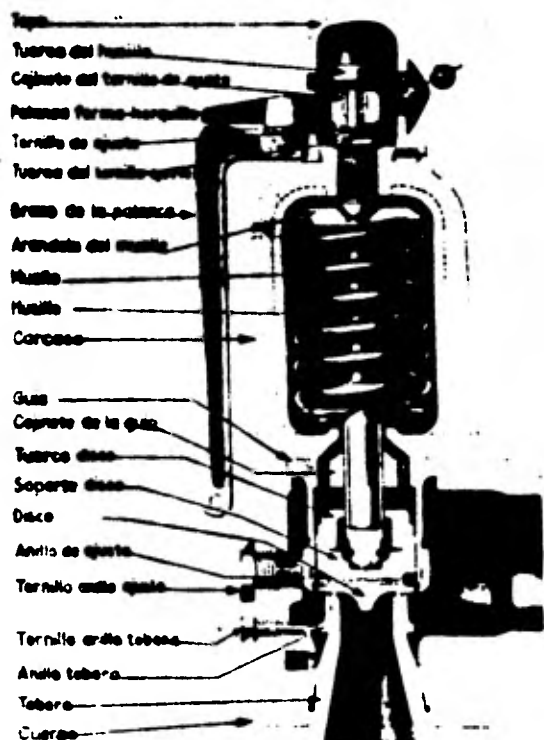


Fig. # 2.- Válvulas de Seguridad.

La figura 2 representa una sección de una válvula de seguridad en la cuál la presión de la caldera es vencida por un muelle cuya tensión se puede ajustar por la parte superior, una manecilla permite accionar la válvula a mano. Cada caldera está equipada con tres válvulas de seguridad, dos de los cuales están instalados en el domo de la caldera y la tercera en el segundo cabezal del sobrecalentador.

Estas están calibradas para que operen en forma progresiva, sus calibraciones se harán en cuanto la caldera alcance su máxima presión.

La de mayor presión se debe ajustar al 3 % sobre la presión de diseño y las otras a intervalos de 1% a 2 % hacia abajo de la válvula de mayor presión.

TAPONES FUSIBLES.

Especialmente en las calderas pirotubulares que trabajan a una presión relativa inferior a 16 Kg/cm^2 , están por lo regular protegidas por tapones fusibles.

Estos consisten en manguitos de acero ó bronce que en su interior contienen una aleación de estaño. Estos tapones se instalan en el domo de la caldera a la altura del nivel del agua mínimo permisible.

El extremo pequeño del tapón está en contacto con los productos de la combustión; cuando el nivel del agua es lo suficientemente bajo para dejar descubierto el tapón, la aleación se funde y el vapor se escapa por el agujero.

De esta manera se impide que la presión de la caldera se haga excesiva, y por otra parte, el escape del vapor atrae la atención del vigilante y pueden adoptarse las precauciones oportunas para evitar que se recaliente el metal de la caldera.

Los tapones fusibles se deben mantener en buenas condiciones y reemplazarse cada año. Cada vez que la caldera sea destapada, el tapón fusible y la superficie colindante de la caldera debe ser rasqueteado y pulido perfectamente.

Si el metal del fusible presenta alguna alteración tendrá que ser renovado.

PURGADORES.

Los purgadores se instalan en la parte más baja de la caldera y algunas veces también en el domo., se utilizan para sacar una cierta cantidad de agua con el fin de extraer de la caldera los lodos, sedimentos y espumas., estas impurezas son producto del agua vaporizada, las cuales se van precipitando constantemente. En ocasiones para la extracción de estas impurezas se emplea un purgado continuo (por el fondo), en el cuál se utiliza un tubo pequeño, no obstante se hace necesario que los purgadores grandes se abran de vez en cuando para extraer completamente los lodos acumulados.

SOPLADORES DE HOLLÍN.

Los 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. Los sopladores de hollín se clasifican en:

Sopladores Mecánicos.

Sopladores Automáticos.

Los sopladores mecánicos están instalados en las calderas permanentemente y situados de manera que todas las superficies de calefacción sometidas a la acumulación de hollín puedan limpiarse con chorros de vapor, aire o una mezcla de aire y vapor.

Los sopladores de hollín están contruidos para girar en un sentido estirando una cadena, 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.

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.

INDICADORES DE TIRO.

Para la operación de una caldera se requiere de la regulación correcta del tiro y del suministro de aire.

Por lo anterior debe instalarse un grupo de indicadores de tiro para guiar a los operadores e indicar las pérdidas de tiro a través de las varias partes de la unidad, de manera que las acumulaciones de depósitos de cenizas en los tubos se puedan detectar desde sus principios y eliminarse antes de que constituyan un problema serio.

CICLONES:

Conforme el vapor asciende en los tubos de una caldera, arrastra consigo agua y materias sólidas en suspensión; entonces - lo que se requiere es purificar el vapor, o sea impedir que - el agua y otras materias sólidas sean arrastradas por el vapor. Para este fin las calderas cuentan con los dispositivos llama- dos ciclones los cuales van instalados interiormente en la - parte superior del domo. El vapor y agua pasan primeramente - a un separador centrífugo de donde el agua es nuevamente re- - gresada y el vapor asciende por unas tabiques de forma ondu- - la a estos tabiques se les llama secadores ó "Scrubers".

Las gotas pequeñas de agua al chocar contra los secadores - tienden a adherirse a ellos, regresando de ésta manera a la - caldera.

Así se evitan que éstas partículas lleguen a los tubos del - sobrecalentador en donde la evaporación completa haría que se depositaran en estos incrustándolas, y sería muy difícil remo- - ver esta incrustación por lo reducido de los tubos y por su - trayectoria que presenta múltiples giros de flujo.

Es claro que cuando el nivel de una cadena se conserva alto - se pierde la purificación del vapor por el efecto de centrifu- - gación ya que los ciclones quedarían ahogados en agua y su - operación sería prácticamente nula, presentándose lo que co- - munmente llamamos arrastre en el vapor.

INSTRUMENTOS.

Requerimientos básicos. En general una caldera debe incluir un tablero de control y medición localizado de tal manera en el piso de operación que el operador sin retirarse de él, - pueda observar una mirilla del horno o las de observación de los quemadores y la columna de agua de la caldera. Bajo - condiciones especiales donde no se posible la inspección visual directa se deben instalar equipos indicadores remotos, confiables para este propósito o asignar personal de operación para el servicio de efectuar comprobación visual continua.

Con el objeto de mantener una operación eficiente, el generador de vapor tiene los siguientes instrumentos de medición.

1.- Producto del generador

- a).- Registrador de vapor
- b).- Indicador de temperatura.
- c).- Indicador de presión: uno en el campo y otro en el tablero de control.

2.- Domo de vapor.

- a).- Registrador de nivel
- b).- Indicador de presión.
- c).- Tres niveles ópticos.
- d).- Un magnetrol que contiene alarmas por alto nivel y dispara por bajo nivel.

3.- Alimentación de Agua a Caldera:

- a).- Registrador de flujo.
- b).- Indicador de presión.

4.- Aire para la combustión:

- a).- Registrador de flujo.
- b).- Indicador de presión.
- c).- Indicador de temperatura.

5.- Calentador de Aire:

- a).- Indicador de temperatura de entrada y salida del precalentador de aire.
- b).- Indicadores de temperaturas de los gases a la entrada y salida.
- c).- Indicador de presiones de entrada y salida del mismo.

6.- Gas combustible:

- a).- Registradores de flujo
- b).- Indicador de presión.

7.- Aceite combustible.

- a).- Registradores de flujo.
- b).- Indicador de presión de aceite.
- c).- Indicador de presión de vapor de atomización.

8.- Chimenea:

- a).- Indicador de temperatura.
- b).- Indicador de presión.
- c).- Registrador de oxígeno.

9.- Caja de Aire:

- a) indicador de presión.

10.- Hogar.

- a).- Indicador de presión.
- b).- Indicador de temperatura.

En el tablero de control existen los siguientes selectoras de control.

- a).- Selectora de agua de alimentación.
- b).- Selectora de combustóleo.
- c).- Selectora de Gas.

- d).- Selectora de Tiro Forzado.
- e).- Selectora de Analizador de oxígeno.
- f).- Selectora de Control Maestro.

Todas ellas estan enlazadas y dirigidas por el control maestro para obtener un control totalmente automático.

Junto con estas selectoras existen válvulas de control - accionadas por ellas y son:

- a).- Válvula de control de nivel de agua.
- b).- Válvula de control de combustóleo.
- c).- Válvula de control de gas a quemadores.

NOTA: Las válvulas de gas y combustóleo tienen una válvula - auxiliar denominada de fuego mínimo.

- d).- Servomotor del tiro forzado.

CAPITULO 3.

3.- OPERACION DE LOS GENERADORES DE VAPOR.

3.1.- INSPECCION DE CALDERAS.

Las Calderas deben ser inspeccionadas durante su construcción, - instalación y posteriormente a intervalos regulares. Estas inspecciones son requisitos legales y reglamentarios de los diferentes estados, municipalidades y otras autoridades competentes. - Además, las compañías de seguros contra accidentes, exigen que - las calderas aseguradas cumplan con los requisitos de las inspecciones.

Casi todas las leyes de inspección de Calderas, 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.

El propósito principal de las inspecciones es el de proporcionar la seguridad en el uso de la caldera y el de fijar períodos de - inspección futuros basados en el estado actual del equipo.

La inspección tiene por objeto conocer las condiciones en las - que se encuentra operando y el grado de conservación de la misma pudiendo hacerse la inspección con el equipo en o fuera de servicio, de acuerdo con el alcance pretendido pero siempre sujetándose a las medidas de seguridad.

3.1.1.- RAZONES PARA LA INSPECCION.

Las razones para inspeccionar las calderas son las de determinar las condiciones físicas del equipo, la velocidad de corrosión y -

las causas del deterioro.

Conociendo estos datos pueden tomarse medidas para:

- 1.- Hacer reparaciones necesarias y planes futuros.
- 2.- Prevenir deterioros futuros.
- 3.- Evitar paradas no programadas, asegurando una continuidad en la operación.

Las calderas se deben inspeccionar para determinar si el deterioro está ocurriendo y observar si ellas están en condiciones de ser operadas con seguridad.

3.1.2.- INSPECTORES.

Las leyes de inspección de calderas prevén, por lo general, la creacción de un consejo de reglamentación para calderas. Este consejo, a su vez, nombra a un inspector en jefe, que es asistido por inspectores subalternos; el inspector en jefe discute los problemas que se presentan con una junta consultiva. La mayoría de las calderas deben ser inspeccionadas por inspectores especiales, nombrados por la compañía aseguradora que asume los riesgos.

Las calderas no aseguradas se deben inspeccionar por el inspector en jefe o por uno de sus subalternos. Estos inspectores autorizados deben diferenciarse de los inspectores de planta del propietario usuario de la caldera. Los términos usuales, son generalmente definidos como sigue:

- 1.- Consejo de reglamentos para calderas. Es el consejo creado por la ley, autorizado para dictar, alterar, e interpretar los reglamentos y prescripciones para la seguridad y para la correcta construcción, instalación, operación, reparación y manejo de cualquier clase de calderas.

- 2.- Inspector en Jefe. Es el jefe de inspección de calderas, nombrado por el consejo.
- 3.- Inspector subalterno. Es el inspector a quien se le encomienda la inspección.
- 4.- Junta Consultiva. Es un grupo de personas nombradas por el consejo para asesorar al funcionario encargado para la administración de las leyes respectivas.
- 5.- Inspector Especial. Es un inspector comisionado, generalmente empleado de una compañía de seguros autorizada para otorgar seguros contra pérdidas por explosiones de las calderas.
- 6.- Inspectores Autorizados. Lo son, el inspector en jefe, sus inspectores subalternos, o cualquier inspector que tenga un certificado de competencia.
- 7.- Propietario usuario. Cualquier persona, firma, asociación o corporación que posea o que opere con una caldera a presión.
- 8.- Inspector de Planta. Es un empleado del propietario usuario y es el responsable de toda la planta de calderas en sí.

Todos los inspectores autorizados deben tener un certificado de competencia. Este certificado sólo se le extiende a personas -- que lo solicitan y se someten a un exámen por escrito, de acuerdo con los requisitos del consejo para reglamentos de calderas.

El nombramiento tiene que ser renovado anualmente y puede ser -- anulado o suspendido por causas que lo ameritan.

Es requisito indispensable que el inspector autorizado tenga una experiencia de por lo menos tres años en el diseño, construcción u operación de calderas de alta presión, como ingeniero mecánico especialista en vapor o experto calderero.

3.1.3.- OBLIGACIONES Y REPORTES.

Las obligaciones legales de un inspector autorizado, incluyen lo siguiente:

- 1.- Llenar los reportes con los datos completos sobre las inspecciones practicadas en calderas.
- 2.- Reportar inmediatamente cualquier caldera que esté funcionando sin el certificado correspondiente de inspección anual, o de cualquier otra cuyo aseguramiento haya sido rehusado, cancelado o descontinuado, así como las razones que originaron tal situación.
- 3.- Cuidar que las calderas sean construídas e instaladas de acuerdo con todos los detalles de los requisitos -- del consejo para reglamentos de calderas.
- 4.- Firmar el reporte de los datos del manufacturero, correspondiente a cada caldera que sea sellada por el inspector.

Independiente del cargo que tenga el inspector, ya sea como empleado de alguna autoridad estatal o municipal, o de alguna compañía de seguros tiene que estar perfectamente informado de las causas de los defectos de las calderas y de lo que origina su deterioro. Su misión es prevenir explosiones de calderas, así como accidentes.

Cuando se trata de una caldera antigua, se debe recabar de los empleados responsables, lo referente a la historia, características y a su comportamiento; debe investigar si se han hecho algunas reparaciones y el carácter de éstas, cerciorándose de que se ha procedido de acuerdo con métodos que garanticen la seguridad, todo esto debe estar asentado en un libro especial para cada caldera.

El inspector necesita tener un alto sentido de responsabilidad y ser sumamente atento en sus observaciones, tomándose el tiempo - que requiera la inspección completa en todos sentidos, y no aceptar ninguna constancia que alguien le proporcione, si él no puede observar la realidad por sí mismo.

Cuando se ha terminado una caldera nueva, habiéndose probado, -- practicado la inspección final y comprobándose que todo está de acuerdo con los códigos, se anotan en una hoja de control todos los datos, referentes a su material y dimensiones.

El inspector autorizado debe revisar los documentos requeridos, -- cerciorándose de que están todos completos, precisos, de acuerdo con los reglamentos y a la debida disponibilidad.

Una vez cumplido todo esto, da fé de los datos, certificando que están correctos.

Los reportes de inspección de todas las calderas en operación deben ser suministrados por el inspector en las formas prescritas.

Una vez que se recibe un reporte satisfactorio de inspección, se rá extendido el certificado de inspección anual.

3.1.4.- PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION.

En el curso de sus actividades, el inspector autorizado, debe tener libre acceso durante un número de horas razonables al local en el que se está construyendo, instalando u operando una caldera.

En estados o países donde no hay leyes gobernando la construcción e inspección de calderas, las inspecciones externas e internas se deben hacer periódicamente, de acuerdo con criterios particulares.

La frecuencia a la cual debe inspeccionarse una caldera depende de la velocidad de deterioro, la cual varía con el mantenimiento y operación de la misma, tomando como guía las experiencias anteriores. Después de varias inspecciones, puede establecerse un historial para cada caldera, y con base en este registro, pueden ajustarse los intervalos regulares de inspección.

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

Debe verificarse y fijarse de antemano la clase de equipo de protección más apropiado que se usará, a fin de que la inspección sea completamente segura.

Siempre que sea posible debe hacerse la inspección con el equipo fuera de servicio, pero de no ser posible, se tomarán las medidas de seguridad.

En servicio y en movimiento, sólo se permitirá una inspección ocular a una distancia fuera del alcance de partes en movimiento.

En servicio y estáticas, no se harán pruebas destructivas tales como golpeteo con martillo, taladro, etc.; se hará únicamente calibraciones de espesores y detectores de fracturas con líquidos penetrantes.

Antes de proceder a la inspección de un equipo, deberá aislarse de los circuitos a los que está conectado, colocando bloqueos para la seguridad y pruebas posteriores, tales como, juntas ciegas en líneas de gas combustible (purgando con aire y hacia la atmósfera el gas acumulado entre la junta ciega y los quemadores); en líneas de gas combustible a pilotos; en líneas de combustible líquido a la caldera; bloqueos en válvulas de seguridad; bloqueos

en líneas de vapor y líneas de alimentación de agua.

Toda caldera por inspeccionar debe ser previamente desalojada de su contenido interior, y por ser éste corrosivo a veces es necesario efectuar una limpieza apropiada. De ser posible debe hacer se una inspección preliminar, es decir, antes de proceder a la limpieza.

Cuando la caldera se ha enfriado lo suficiente, deberán ser abiertas las válvulas para drenar el agua y proceder a quitar los registros de hombres y de mano, para permitir la circulación de -- aire a través de la caldera.

3.1.5.- OPORTUNIDAD PARA LA INSPECCION.

Donde hay personal autorizado para la inspección de calderas, el catálogo de inspección se fija y se sigue rígidamente. En otros casos el programa de inspección se coordina con el período de -- operación.

El propietario o usuario debe preparar la caldera para la inspección interna en la fecha fijada y se tomarán medidas para la -- ejecución de la prueba hidrostática, si es necesaria, en presencia del inspector autorizado.

El inspector debe acercarse lo más posible a las partes de la -- caldera, tanto interior como exteriormente, con el fin de que se tenga la mejor visión posible de las superficies.

Las calderas tienen que suspender su servicio a intervalos regulares, para su inspección interna, limpieza y reparación.

Estos períodos de tiempo son determinados por la experiencia, de acuerdo con las condiciones de operación del agua y del combustible, así como de la demanda de carga de la caldera. Los programas de inspección se elaboran conjuntamente con el personal de --

operación y mantenimiento.

Las inspecciones rutinarias efectuadas por un inspector de la propia planta, son sólo complementarias y no pueden sustituir a las efectuadas a frecuencias predeterminadas.

El inspector autorizado observará detenidamente la operación y las condiciones de la caldera, y al notar algún defecto serio, condiciones de servicio dudosas o que afectan la seguridad, sucesos imprevistos, escasez de vapor o de agua, desequilibrio en la operación (descenso de la eficiencia) deberá hacer un reporte inmediato al ingeniero en jefe y éste a su vez a la Gerencia de la Planta.

3.1.6.- INSPECCION EXTERNA.

La inspección externa no requiere de una preparación especial -- con excepción de las facilidades que se le deberá dar al inspector como es el libre acceso a la caldera y sus conexiones.

La inspección externa efectuada por el inspector autorizado comprenderá el exámen de la caldera, sus accesorios, auxiliares y conexiones, mientras está en servicio. Una forma de hacer el exámen preliminar es la observación de la operación y del mantenimiento que se dá normalmente a la caldera.

La inspección general externa del equipo se puede hacer mientras el equipo está en operación, aunque ciertas condiciones no muy claras deban ser detectadas durante la sacada de operación del equipo. Estas inspecciones dependen del número de inspectores con que se cuenta ya que éstas, pueden llevarse a cabo al mismo tiempo.

Si durante la inspección se descubre alguna fuga o ruptura, se quitará una cantidad suficiente de revestimiento para permitir un exámen detallado; de no ser posible en operación, se ordenará el paro de la caldera para el exámen apropiado.

El inspector examinará la caldera para verificar su alineamiento anotando si ha habido alguna tendencia de asentamiento, desnivel o movimiento anormal, evidenciados por el desplazamiento del domo ó alguna de las partes a presión.

Comprobará que se tiene provisión adecuada para expansión y contracción de la caldera y su recubrimiento, y que todos los soportes están en buenas condiciones para soportar la carga que actúa sobre ellos. Se recomienda colocar marcas permanentes de referencia en los domos y cabezales para comprobar sus posiciones en frío y en caliente.

Se debe hacer un exámen para comprobar si hay corrosión en el exterior del domo o de los tubos y que no haya fugas en los techos chimeneas, válvulas ó tuberías. Las líneas de drenaje y tubos cubiertos por mampostería deberán ser periódicamente descubiertos para ver si se presenta corrosión externa.

También se hace un exámen cuidadoso en la válvula ó válvulas de seguridad, sus conexiones a la caldera, tubos de escape, drenajes y soportes. Todas las aberturas deberán estar libres y limpias.

3.1.7.- INSPECCION INTERNA.

Para efectuar la inspección interna se requiere de una preparación mayor, principalmente enfriamiento adecuado, apertura de la unidad, junto con una perfecta limpieza de las partes a presión-

expuestas a fuego y del material refractario.

Antes de empezar una inspección interna se debe observar los resultados de la inspección externa reciente y poner atención especial a los puntos que lo ameriten; tales como lugares calientes sobre la cubierta por una falla del refractario, alguna acumulación de humedad sobre el cabezal que podría indicar algún tubo roto o mal rolado.

Es bueno hacer una inspección preliminar del interior de la caldera, tubos, hogar, ductos de gas, etc., antes de que la caldera se limpie. La localización, relación y tipo de lodo, depósitos de escamas sobre el interior nos proporcionará información relativa a la efectividad del tratamiento de agua o para determinar cual de las partes requiere atención especial.

Después de una inspección interna preliminar y limpieza interna general la inspección detallada puede proceder.

Además la inspección interna cubrirá las condiciones de las calderas o generadores de vapor, paredes de agua, sobrecalentadores, recalentadores y economizadores con sus conexiones, lo mismo que las líneas de vapor, agua y purga con sus conexiones y válvulas.

El inspector entrará al hogar y a los domos, dándole atención especial a las partes de la caldera que son inaccesibles y difíciles de limpiar. Se removerá de ser necesario, muros de tabique y recubrimiento para lograr una inspección completa, aunque generalmente no es necesario remover el material aislante, a menos que cierto deterioro sea detectado.

Todas las superficies internas y conexiones de enlace tales como niveles, válvulas de seguridad, boquillas, etc., se deben exami-

nar por deformación, corrosión, ranurado, depósitos de escamas y acumulación de lodos. Se deberá poner atención especial en todas las costuras soldadas ó remachadas y áreas adyacentes.

3.1.8.- CERTIFICADO DE INSPECCION ANUAL.

El código de Inspección del Consejo Nacional (National Board - - Inspection Code), recomienda que las calderas que generan vapor para fuerza, deben ser inspeccionadas anualmente, tanto en su interior como en su exterior, estando sin presión, examinando posteriormente su interior estando la caldera bajo presión.

Después de una inspección satisfactoria, se extiende el certificado de inspección anual. Es válido para doce meses, con un período de tolerancia de dos meses. El certificado de inspección debe colocarse en un marco protegido por vidrio, en el cuarto de calderas, o en un estuche metálico asegurado a la caldera misma.

El certificado de inspección puede ser cancelado, siempre que se llegue a comprobar que la caldera afectada no reúne las condiciones necesarias de seguridad pública, o que no satisface los requisitos y reglamentos del código de inspección correspondiente. Esta cancelación anula automáticamente la reponsabilidad del seguro.

3.1.9.- REGISTROS.

El inspector de la planta deberá llevar un registro con todos -- los datos importantes relacionados con la unidad generadora de vapor, tales como los datos del diseño, dimensiones, antigüedad y especificaciones de los defectos previamente notados y reparaciones o modificaciones hechas, cuyas constancias beneficiarán -- mucho al inspector autorizado.

El registro de todas las inspecciones practicadas debe guardarse en forma ordenada, de manera que cualquier cambio en las condiciones de la caldera sea notado y determinado fácilmente, especialmente en lo que se refiere al grueso de las incrustaciones, corrosión, grado de abrasión, ruptura y otras circunstancias -- anómalas.

Al inspector de la planta se le deberá entregar copia de los reportes de las inspecciones practicadas por los inspectores autorizados, y se encargará de verificar que se ejecuten las recomendaciones de los reportes pronto y cuidadosamente.

3.1.10.- CODIGO DE INSPECCION Y MARCADO.

Prácticamente todas las calderas están marcadas con símbolos y otras marcas, ya sea directamente sobre el cuerpo de la Caldera o sobre placas adheridas o pegadas, indicando el Código ó reglas sobre las cuales fueron construídas. Sin embargo algunas no son marcadas y si una Caldera es transportada hacia un nuevo local ó reinstalada sobre nuevas bases, es importante checar el marcado, asegurándose la condición de la Caldera y estudiar los arreglos aplicables al lugar de la instalación en orden a determinar que todas las exigencias estén satisfechas.

Este marcado normalmente muestra lo siguiente:

- a) Símbolo indicando Código y Convenio ó Acuerdo con la cual la Caldera fué construída.
- b) Nombre de la Compañía manufacturera de la Caldera.
- c) Número de serie de la Caldera.
- d) Máxima presión de trabajo permitida.
- e) Superficie de calentamiento de la Caldera.
- f) Año en que la Caldera fué construída.

El inspector autorizado obtiene con el marcado la información antes mencionada y le permite obtener datos originales de los fabricantes de la caldera y planos si se requieren.

3.2.- MONTAJE DE LA CALDERA.

3.2.1.- PROGRAMACION DE MONTAJE.

La elaboración de un programa de montaje anterior al comienzo de la fabricación de la unidad o unidades es básico porque de acuerdo con él y con la información proveniente del Departamento de Ingeniería se elabora el programa de producción y entregas.

El programa de montaje deberá mostrar en detalle cada una de las proyectadas secuencias de erección y de esa manera conocer de antemano toda la serie de factores que quedarán involucradas en la obra de construcción.

Como conclusión puede afirmarse que la elaboración cuidadosa y realista de un programa de montaje asegurará en buena parte el éxito de todos sentidos de la erección de la unidad.

3.2.2.- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE.

Un generador de vapor para uso industrial de cierta capacidad, o bien el usado en una central de energía eléctrica está generalmente compuesto de estructura, domos, tubería de horno enfriada por agua, uno o dos pasos de sobrecalentamiento, economizador, calentador de aire, equipo de combustión, ventiladores, ductos para aire y gases, sopladores de hollín y otros equipos auxiliares. Todos ellos deben de ser posicionados y ensamblados con objeto de formar una sola unidad.

La siguiente secuencia de montaje es la que se considera más lógica.

3.2.3.- ESTRUCTURA Y SOPORTES.

El alineamiento, nivelación y ensamble final de la estructura y soportes de un generador de vapor es el primer paso en el armado de la unidad.

Debido a que generalmente el peso total descansará en esta estructura o soportes, siempre se presta atención especial a su alineamiento y ajuste final lo cual generalmente consiste de tornillería ó soldadura.

3.2.4.- DOMOS Y CABEZALEZ.

Los domos constituyen el mayor componente a ser instalado en un generador de vapor y en algunos casos puede llegar a exceder de las 200 toneladas y 35 Mts. de longitud para calderas de gran capacidad. Lógicamente es la maniobra de más importancia y que exige de gran experiencia y exactitud debido a la gran cantidad de conexiones que parten de él y otros componentes asociados -- que limitan las tolerancias de aproximación.

En el caso de calderas autoportadas es necesario la Construcción de una estructura provisional para soportar el domo de vapor.

Los cabezales de paredes de horno y sobrecalentador generalmente quedan suspendidos del techo de tal manera que permitan expansiones laterales, quedando colgados de varillas que en su parte superior llevan rondanas de tipo mecedora con la curva orientada propiamente.

Para reducir costo y tiempo es tendencia actual el fabricar los tubos del horno formando paneles con vigas de refuerzo y amarres ya instalados de tal manera que sean fácilmente montados en su posición final.

3.2.5.- CONEXIONES DE FLUXERIA.

La fluxería está conectada a domos y cabezales a través de dos medios:

- a.- Expandidos.
- b.- Soldadura a tope con nipples instalados en fábrica.

La expansión consiste en la colocación de un extremo de flux en orificio de domo o cabezal y después plásticamente expandido por una presión interna, que al cesar mantiene rígida la unión de tubo con placa.

Esta unión representa la forma más simple y menos costosa de conectar fluxería de domos y cabezales.

En algunas ocasiones en que se prevee cargas anormales y variaciones de temperatura se recomienda soldadura de sello, las cuales deben de hacerse de acuerdo a dibujos de diseño y siguiendo el procedimiento de soldadura más adecuado.

Es imprescindible contar con una cédula de soldadura que como mínimo deberá contener la siguiente información.

- 1.- Descripción de las partes a soldarse.
- 2.- Especificación de material.
- 3.- Diámetro de espesor de material.
- 4.- Tipo y posición de las soldaduras.
- 5.- Número de soldaduras.
- 6.- Procedimiento de soldadura (arco metálico oxiacetileno y argón)
- 7.- Tipo de electrodo o material de aporte.
- 8.- Diámetro de electrodo o varilla de aporte.

- 9.- Temperatura de precalentamiento.
- 10.- Exámen Radiográfico.
- 11.- Relevado de esfuerzo.
- 12.- Especificación de procedimiento de soldadura.

Ensamble de partes a no presión y auxiliares.

Mientras las partes a presión son ensambladas y probadas, el trabajo de las partes a no presión y auxiliares deben ir progresando ya que generalmente ocupan un buen porcentaje del trabajo total. Entre los aspectos principales de este punto se puede citar calentadores de aire, equipo de combustión, ventiladores, trabajo de ductería, refractario, aislamiento y envolvente.

3.3.- PRUEBA HIDROSTÁTICA.

La prueba hidrostática se debe efectuar a un 50% sobre la presión normal del 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. La cubierta debe ser hermética al aire y en el caso de hornos a presión se debe hacer pruebas de aire usando los ventiladores de tiro forzado únicamente y tetracianuro tetracloruro de titanio para poder detectar las fugas de aire. Después de que la caldera se ha llenado para la prueba hidrostática se debe tomar precauciones contra congelamiento, drenándose la caldera o manteniéndola a buena temperatura por medio de calentadores.

Después de que la prueba hidrostática ha sido satisfactoria, se deben instalar las válvulas de seguridad y otros aditamentos -- que vayan unidos con bridas a la caldera.

La caldera es cuidadosamente revisada para ver que su expansión térmica no esté restringida.

Las tuberías y conexiones deben tener soportes para que estén en libertad de moverse con la caldera o sobrecalentador antes de -- que las partes internas del domo de la caldera sean instaladas.

Todos los tubos deben probarse con herramientas neumáticas (bolas, turbinas, limpiadores, etc.) para evitar que exista taponamiento.

Las partes internas del domo deben ser cuidadosamente instaladas y encontrarse a nivel, de modo que queden correctamente colocadas y que los empaques o juntas soldadas no tengan fugas; si es to no se hace, se tendrán problemas con el vapor generado, el cual es de baja calidad.

Cuando el trabajo de construcción se ha terminado, la caldera -- se debe limpiar cuidadosamente, evitando desperdicios tanto en las cámaras de agua como de combustión. Madera, cartón y otras materias inflamables se deben remover de la cámara de combus-tión, para evitar las posibilidades de explosión durante la pues-ta en marcha.

Antes de que la caldera sea puesta en operación, varios auxiliares, tales como sopladores de hollín, carboneras, equipo para -- tiro, conexiones, colectores de polvo, bomba de alimentación, -- calentadores y reguladores, deben instalarse, alinearse, lubricarse y estar en condiciones de operación.

3.3.1.- PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR LA PRUEBA HIDROSTÁTICA.

Una caldera ya sea nueva, de segunda mano o reinstalada se somete a una prueba hidrostática (a base de agua de presión) cuando se ha terminado su instalación. La prueba hidrostática tiene por objeto la comprobación de la hermeticidad, así como el de averiguar la resistencia mínima de la unidad.

Al haberse concluido la fabricación e instalación de la caldera, ésta debe someterse a una prueba de presión empleando agua a -- temperatura ambiente, pero en ningún caso a menor temperatura -- de 21°C, (70°F).

Antes de efectuar la prueba hidrostática en la unidad, se debe llevar a cabo una cuidadosa inspección de las partes internas y externas para asegurarse que:

- a.- Han sido removidos materiales y herramientas.
- b.- No haya nadie en el interior 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 aisladas o bloqueadas.
- f.- Todas las válvulas operen libremente y sellen correctamente.

Cuando lo anterior se ha verificado:

- a' Cerrar todos los registros de hombre en domo y tambor de lodos y asegurarse que las tortugas de los cabezales estén cerradas.

- b' Cerrar válvulas de bloqueo y de check, las de drene y purga continua, y las válvulas e indicadores y equipo no diseñado para soportar la prueba hidrostática.
- c' Abrir los venteos en la parte más alta del domo de la unidad.
- d' Asegurarse que el agua no se congele durante la prueba y que las partes no drenables no queden sujetas a congelación después de la misma.
- e' Observar el llenado correcto de la caldera, evitando -- así tener aire entrampado.
- f' Nunca debe efectuarse la prueba hidrostática en una -- unidad caliente.
- g' Unicamente el personal autorizado debe encontrarse alrededor de la unidad en prueba.

La prueba debe efectuarse en dos etapas, como sigue:

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

3.3.2.- 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, cerrarlos.

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, use 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 montado 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 8, 72, 100 horas o más subsecuentes.

3.4. SECADO DEL REFRACTARIO.

En un generador de vapor existe una gran cantidad de material - de mampostería en forma de lozas de ladrillo refractario, mamparras, refractario maleable y mortero refractario 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 refractario "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 refractario se reducirá; sin embargo, por la constitución química del ladrillo refractario y de los materiales maleables, la completa remoción de humedad se puede obtener por -- medio de la aplicación lenta de calor controlado. 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 vaciados 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 mejor.

Si el fraguado se calienta demasiado rápido, la cubierta de éste 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 esté seguro que las indicaciones dadas anteriormente se hayan seguido. La unidad debe llenarse a un nivel de operación, con agua limpia y filtrada que contenga cargas químicas apropiadas para el hervido,* los cristales de los niveles ópticos deben protegerse convenientemente, substituyéndolos por unos provisionales antes de iniciar 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 éstos 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 usado 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 combustibles en las partes más frías debido a una combustión incompleta; estos depósitos pueden ocasionar pequeños incendios. Si es necesario usar quemadores de combustible líquido para el secado, 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 madera ligera para el proceso de secado y el fuego debe iniciarse en el centro del piso del hogar, manteniéndose en el mismo para prevenir sobrecalentamientos en cualquiera de las secciones refractarias.

Después de iniciado el fuego, mantenga una llama ligera hasta que el material refractario esté completamente seco. El rango de fuego debe ser suficiente para calentar el agua en 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 de agua en el domo se debe mantener correctamente toda el tiempo. Si el período de secado no es combinado con el "hervido" 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 refractario seco no debe enfriarse en forma brusca; por lo tanto, se deben mantener cerradas las puertas de inspección hasta que se desee 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 de rellenarse o puntearse con un cemento refractario de buen grado.

3.5.- HERVIDO O LAVADO QUIMICO.

El "hervido" es el proceso de limpieza química para remover aceite o grasa, usando normalmente como solvente una solución fuertemente alcalina. Los aceites y grasas fueron introducidos con el propósito de proteger los tubos y otras partes de presión durante el montaje, o durante el rolado de tubos en sobrecalentador y domos.

La presencia de películas finas de aceite o grasa y su descomposición en las superficies de calentamiento de la caldera, pueden interferir seriamente la transferencia de calor; estas películas, actúan como un peligroso aislante y evita la rápida

transferencia de calor del metal al agua de la caldera. El resultado es un incremento en la temperatura del metal, suficiente para causar sobrecalentamiento y abolsamiento en los tubos y finalmente, fallas a altas cargas.

Los productos químicos deben disolverse en agua antes de agregarse a la caldera y nunca se usarán en forma sólida para tales fines. Si se manejan materiales cáusticos manuales, debe tenerse cuidado de evitar contacto con los ojos, piel o ropa y cuando se mezcle este material, se recomienda usar gafas, guantes de goma y ropa especial.

Las soluciones químicas no deben inyectarse a la caldera a través de la línea normal de cargas químicas, ya que estas altas concentraciones pueden incrustar dichas líneas y válvulas; estas deben ser agregadas en solución a través de los registros del domo.

3.5.1.- PROCEDIMIENTO PARA EL " HERVIDO".

La caldera y el economizador deben llenarse al nivel normal de operación con una solución formada por:

- 1.8 Kg. de carbonato de sodio y
- 1.8 Kg. de fosfato trisódico por
- 453 Kg. de agua (esto es con respecto al peso del agua) y un detergente (0.05 a 0.1 % por volumen).

Se puede usar otras soluciones para el hervido en caso de que el control de contaminación sea muy estricto. La caldera debe llenarse a través de la línea de alimentación o por las conexiones de llenado de ácido en el cabezal de las paredes de agua.

Después de que la caldera esté llena con la solución se deben hacer funcionar las bombas de circulación.

Las bombas se deben purgar continuamente.

Es conveniente hacer el barrido del hogar para eliminar cualquier cantidad de gases que existan.

Después del barrido se encienden los quemadores para que la distribución del calor sea lo más uniforme posible. La capacidad del fuego debe regularse para elevar la presión de la caldera a 7 Kg/cm² en aproximadamente 4 horas. Durante el hervido la presión en el domo debe mantenerse entre 7 y 14 Kg/cm² el nivel del domo debe mantenerse ligeramente arriba de su valor normal en el indicador de cristal, durante todo el período del hervido.

Durante el hervido se toman muestras de fondo cada hora y si las concentraciones de fosfato y la alcalinidad del agua disminuyen a la mitad de su valor original se inyectan reactivos químicos para restablecer la concentración original.

A las muestras se les harán análisis de:

Alcalinidad, fosfatos, sílice disuelta y también se determinará si hay presencia de aceite.

Durante el hervido se alternará la operación de las bombas de circulación de la caldera haciendo funcionar siempre una de las que están fuera de operación antes de parar una de las que están en servicio.

Cuando el resultado de los análisis muestran que la alcalinidad fosfatos y sílice disuelta han alcanzado un valor de equilibrio y no se detecte aceite en las muestras, se dá por terminado el hervido y se procede a apagar los quemadores.

Cuando la presión sea de 1.75 Kg/cm² se abren los venteos del domo y del cabezal de salida del sobrecalentador. Se mantiene en operación una bomba de circulación hasta que la temperatura del metal del domo esté abajo de (93.3 °C), parar la bomba y vaciar la caldera.

Luego de drenar toda la solución alcalina, se llena la caldera hasta lo más alto del cristal de nivel con agua clara para enjuagado de 76.6 a 82.2 °C., controlando las válvulas de succión y descarga de una bomba de circulación de acuerdo con la velocidad de llenado de la caldera.

El sobrecalentador se debe llenar a contra flujo por el cabezal de salida con condensado o agua desmineralizada, y se mantiene lleno por el resto de la limpieza química.

Una vez terminado el hervido, se deja enfriar la caldera para proceder a vaciarla. Enseguida se llena con agua cruda como un enjuague y se vaciará ésta agua por todas las purgas para desalojar todo el lodo y partículas, con el fin de favorecer el lavado ácido subsecuente.

Si durante la inspección se observa remanentes del hervido ó aceite, el procedimiento debe repetirse.

Sin embargo la remoción de escamas no es el objetivo principal ya que la limpieza ácida lo realizará.

3.6.- LAVADO ACIDO.

Antes de proceder con el lavado ácido, se debe proteger debidamente la sección de tubos correspondientes al sobrecalentador, por medio de Tapones de madera, habiendo quitado antes los separadores de vapor del domo, llenando los tubos previamente con agua desmineralizada ó condensado filtrado, conteniendo 300 a 500 p.p.m. de hidrazina y 50 a 100 p.p.m. de amoníaco, a manera de tener un pH francamente alcalino, para evitar que los vapores ácidos o la solución llegue al interior de los tubos.

Se recomienda que el lavado ácido se haga inmediatamente después de la inspección posterior al hervido.

Para efectuar el lavado ácido se procede en la siguiente forma.

Llenar la caldera con agua tratada o condensada tratado a una temperatura no mayor de 70°C hasta su nivel normal.

Mediante la bomba de recirculación y debido al régimen no uniforme de enfriamiento entre las paredes de tubos y las gruesas paredes del domo y cabezales es necesario efectuar un calentamiento el cual podrá ser a base de intercambio de calor con vapor, se hace con fuego moderado de calentamiento con quemadores de petróleo o gas; nunca se debe usar para este fin los quemadores de la caldera.

Cuando se estabiliza la temperatura del agua de la caldera a 70°C, se dejará bloqueado el medio de calentamiento tomando las precauciones necesarias para que la temperatura lograda se conserve el mayor tiempo posible, tales como evitar paso de aire frío a través de registros de aire, mirillas y compuertas.

Antes de introducir el ácido a la caldera asegurarse de que:

- 1.- El sobrecalentador esté lleno de condensado o con agua desmineralizada.
- 2.- Las mirillas y registros del hogar y compuertas estén cerradas.
- 3.- Las válvulas de las líneas de los venteos del domo estén abiertas.
- 4.- Las válvulas de la línea de recirculación al economizador estén abiertas.
- 5.- Las válvulas de purgas de la caldera y las de inyección de químicos estén cerradas.

Teniendo en cuenta estas observaciones, entonces se procederá a agregar el ácido clorhídrico (50.6 %) y el bifluoruro de amonio (0.25% en peso) en forma paulatina y ya inhibido el ácido, hasta completar la cantidad calculada para dar la concentración de seada.

En este momento se debe obtener muestras representativas para determinar las concentraciones de ácido y de hierro.

La concentración de ácido no debe ser menor de 5%, ni mayor de 7.5%. A partir de esto, se empezará a contar el tiempo de lavado ácido, llamándose este tiempo neto de contacto, el cual -- debe ser de 4 Hrs.

Durante este tiempo, la bomba de recirculación permanecerá para da los primeros 50 minutos de cada una de las 4 horas para permitir que reaccione la solución en forma estática y los 10 minutos finales de cada hora se pondrá a funcionar la bomba para -- tratar de homogeneizar el solvente.

Al final de estos 10 minutos se sacarán muestras para determinar la concentración de ácido y la concentración de hierro.

Durante la operación de recirculación ya no es necesario emplear ácido adicional.

3.7.- DILUCION.

Se hace al terminar el tiempo neto de contacto, suministrando - agua a la caldera y al mismo tiempo purgando una cantidad igual para que por dilución se elimine el ácido, hasta que por análisis periódicos se obtenga la ausencia de hierro y acidez. Para tener la seguridad de la completa eliminación del hierro, después de lo anterior, se hace un último enjuague con una solución de ácido cítrico en concentración de 0.1% en peso, debien

do vaciar la caldera antes de la neutralización.

No debe en ningún caso eliminarse el ácido clorhídrico vaciando la caldera, puesto que esto favorece la corrosión, por lo tanto siempre debe hacerse a base de dilución progresiva.

3.8.- NEUTRALIZACION.

Consiste en hacer un hervido llenando la caldera a su nivel normal con una solución de carbonato de sodio a concentración de 1% en peso habiendo previamente quitado los tapones de los tubos al sobrecalentador.

El procedimiento de hervido es a fuego lento, hasta alcanzar -- una presión de 10 y 14 Kg/cm².

La Duración de este hervido neutralizante será durante 6 horas.

Es conveniente operar el mínimo de bombas de circulación de la caldera durante este período.

3.9.- PASIVACION.

Después de terminada la neutralización, se vacia la caldera y se llena con agua tratada o condensada tratada a una temperatura mínima de 70°C, usándose una concentración de nitrito de sodio del 0.5% en peso, hidrazina en 0.1% en peso y sosa cáustica en 0.25 % en peso.

La solución se recirculará durante 3 horas. No se debe usar -- los quemadores de la caldera para alcanzar esta temperatura.

Después de la pasivación se vaciará la caldera y se hará un lavado con manguera a la mayor presión posible a cada uno de los tubos de agua para desalojar todo el lodo ó partículas desprendidas, por cabezales y tambor inferior, de manera que se obtenga una limpieza absoluta.

El enfriamiento de la caldera debe ser lento, cuando la presión sea de 1.75 Kg/cm^2 se abren los venteos del domo y cuando la temperatura este abajo de 70°C se vacía.

Cuando la caldera se enfrie suficientemente para poder entrar -- abrir la unidad para inspeccionarla y completar los trabajos internos de los domos.

3.10.- PRESERVACION.

Una vez armada las partes internas del domo, después del lavado ácido en tanto entra la caldera en operación, es necesario llenar la con agua tratada a una temperatura mínima de 50°C , añadiéndole 200p.p.m. de hidrazina y 50 p.p.m. de amoniaco, suficientes para obtener un pH alcalino.

3.11.- PREPARATIVOS PARA PONER EN SERVICIO LA CALDERA DESPUES
DEL LAVADO ACIDO.

- 1.- Revisar el domo.
 - a) Soplar las líneas de conexión de indicadores del nivel e instrumentos.
 - b) Soplar las líneas de alimentación de sustancias químicas y la de purga continua.
 - c) Lavar cualquier sedimento de las superficies internas y capas de separadores.
- 2.- Revisar el colector inferior y lavarlo con agua limpia.
- 3.- Revisar los cabezales que sean accesibles y lavarlos.
- 4.- Cuando las superficies internas estén limpias:
 - a) Instalar los separadores primarios y secundarios en el domo.
 - b) Instalar los orificios y mallas en el domo de acuerdo a las instrucciones y dibujos.
 - c) Instalar todas las tortugas de los cabezales que se hayan quitado o que no hayan sido soldadas en la fábrica.
- 5.- Quitar todas las válvulas y conexiones que se usaron para el lavado ácido.
- 6.- Cuando todos los trabajos en el domo y cabezales se hayan terminado, hacer una última inspección.
Instalar tapas de los registros.
- 7.- Llenar la caldera con agua tratada al nivel de operación.
- 8.- Preparar las bombas de circulación de la caldera. Tomando en cuenta estas observaciones se considera que la caldera está lista para su operación.

3.12 REGLAS PREOPERACIONALES PARA OPERACION:

Las siguientes instrucciones generales se deben aplicar cuando se vaya a poner en operación un generador de vapor. Estas son encaminadas a complementar la experiencia y criterio del personal para la buena operación y cubrir todas las precauciones - que deban ser observadas.

Todo el equipo auxiliar debe estar en buenas condiciones de - diseño y debe ser operado de acuerdo con las recomendaciones e indicaciones del fabricante.

Al preparar una nueva unidad para servicio, ver concienzuda-- mente que:

- a) Los niveles ópticos se deben checar para ver que se insta-- len correctamente antes de la operación preliminar. Siempre que sea reparado o cambiado un nivel óptico, se - debe probar.
- b) Las líneas de purga de la columna y de los niveles ópti-- cos se deben entubar y cerrar las válvulas de drene. Los niveles deben contar con un iluminador y ser visibles al operador desde el piso o desde el cuarto de control.
- c) Todos los venteos, drenes y líneas de purga, deben estar accesibles y descargadas 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 conectarse 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 instalados con 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, operar y calibrar 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 a través 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 esté adentro de la unidad.

3.13 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" 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 10.16 a 15.24 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 están disponibles. Las columnas de agua e indicadores de nivel, se deben poner en operación, así como los manómetros.

En caso de que los indicadores de tiro o medidores de flujo hayan sido revisados durante la parada, se deben revisar para ponerlos en operación de nuevo.

Después de que nadie permanece dentro de la caldera, 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 el comprobar que la alimentación o existencias 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 encender por primera vez, esto es especialmente aplicable a unidades que utilicen combustibles gaseosos donde existe la posibilidad de que alguna 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 0.76 a 1.27 cms. Una parte de - aire, únicamente 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 antorcha o que la corriente de 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 o de colocar en posición la antorcha de encendido, en el frente o ligeramente abajo del punto de entrada del combustible al hogar, se podrá iniciar la entrada de combustible.

Si el fuego no se enciende en los primeros segundos, el paso de combustible se debe interrumpir barriendo la caldera conscientemente 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 del primero 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 en los elementos del sobrecalentador. Las grandes calderas de alta presión están limitadas, por lo general, a un aumento de temperatura de 100°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 hará más fácil observar los incrementos de temperatura. Cuando la circulación de 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 afectadas 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 éstos se calienten demasiado.

Quando 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 equipo que quema 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 las

antorchas de encendido durante la primera parte de la operación para evitar un encendido intermitente.

Cuando la presión de la caldera alcanza 6.8 a 9 Kgs., 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 a a la turbina o 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 que 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 propiamente y que no se han desarrollado fugas en las juntas de los registros o en ninguna 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 que hace necesario que se extraiga 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 del agua descenderá haciendo necesaria la alimentación de agua.

Cuando la unidad está equipada con un economizador es aconsejable alimentar la suficiente cantidad de agua para evitar que esta hierva o caliente demasiado el 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.

Cuando la caldera y la turbina se operan como una unidad es deseable que la turbina sea arrancada cuando la caldera tenga entre un tercio a la mitad de su presión normal. Esto evita las pérdidas de calor y agua inevitables cuando se ventea vapor a la atmósfera a través del sobrecalentador. Esto también reduce el tiempo total necesario para arrancar la caldera y la turbina y en unidades de recalentamiento ofrece un medio para enfriar el recalentador. La caldera debe estar en o muy cerca de su presión normal de operación cuando se permita que la turbina comience a tomar carga, esto, sin embargo, en ocasiones a temperaturas excesivas de vapor, debido al régimen de combustión acelerado, necesario para calentar la unidad y para incrementar la presión junto con el calor requerido para generar vapor necesario para la operación de la turbina.

Las válvulas de seguridad son, algunas veces, levantadas a mano antes de que la caldera alcance su presión máxima. La válvula de alivio operada por motor colocada en la salida del sobrecalentador es operada varias veces, exactamente antes de que la caldera tome carga a fin de soplar el agua de las vueltas de la tubería en sobrecalentadores del tipo "Colgante".

Si la caldera alimenta un cabezal de vapor, la válvula de corte 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 de 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.

Si la caldera alimenta una o varias unidades por sí sola, su capacidad de generación se debe ajustar rápidamente a la demanda de vapor para evitar cambios drásticos en la presión.

La carga de la turbina es, generalmente, llevada a un 10 ó 20 % de la carga total y mantenida en ese punto hasta que la zona de

escape de la turbina se haya enfriado lo suficiente. Esta carga será también la suficiente para enfriar el sobrecalentador por lo que es posible cerrar la purga de éste. Los by-passes 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 remanentes 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, cuidando de que una flama sin fluctuaciones y limpia se mantenga 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 sobrecalentado 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 su 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 y combustible se deben cambiar al mismo tiempo con el de aire, tomando preferencia 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 aumenta 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 ó 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-passes deben cerrarse, y los arreglos 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.

3.14 OPERACION NORMAL DE LA CALDERA.

La lectura de los instrumentos más importantes, deben ser registradas cada hora, así como las horas en que se arrancan y se paran todos los equipos auxiliares. Las lecturas que indican las pérdidas de tipo o de presión, así como los cambios de temperaturas en diferentes partes de la unidad, deben ser registradas también, y estudiadas, para detectar cualquier variación anormal.

Las gráficas de flujo vapor-aire o gas-aire, se deben verificar mediante análisis periódicos de los gases de escape. El nivel de agua en el domo debe observarse al principio de cada turno asegurándose de que es el indicado por los instrumentos y niveles. Los sopladores de hollín se operan tan frecuentemente como se requiera, generalmente una vez por turno.

Las reservas de combustible y de agua de alimentación, se deben verificar varias veces en cada turno, la lubricación de todos los equipos auxiliares, debe comprobarse, así como su correcta operación. La uniformidad de la distribución del aire y del combustible, se debe observar cuidadosamente junto con la posible acumulación de escorias y cenizas. Dichas acumulaciones en cualquier parte de la caldera, así como en los colectores de polvo se deben remover a medida que se requiera generalmente esto es una vez por turno.

En cada turno, se deben inspeccionar la caldera a fin de descubrir fuga de gases o aire, expansiones anormales, puntos re calentados así como ruidos o vibraciones anormales. En caso de que alguna condición anormal se encuentre, ésta se debe corregir y reportarse, además de lo anterior, es importante el mantener la cantidad de vapor generada en igualdad a la de manda, a fin de llevar una presión lo más constante posible en la caldera.

En lo relativo a la temperatura del vapor, es esencial el mantener limpias las paredes de tubos de circulación de agua, - los quemadores bien ajustados, así como los atemperadores y - compuertas de control usadas en el sistema de control de temperaturas de vapor para que se pueda operar dentro del rango de seguridad en lo que se refiere a la temperatura del vapor. Si la capacidad de la caldera es limitada por alguna falla o disminución en el suministro de combustible o agua de alimentación, o si la demanda de vapor llega a ser excesiva, es preferible operar la caldera a una carga menor y no permitir que la presión del vapor disminuya al punto de originar en la caldera esfuerzos térmicos severos y que la operación de los auxiliares se vea afectada. Si el uso de carbón húmedo, baja presión de gas u otras causas originan que la flama no sea estable, será necesario el uso de antorchas a fin de asegurar su operación.

Si la flama se apaga, la carga se debe reducir con rapidez a fin de evitar que la presión baje repentinamente antes de que la caldera esté lista para ser encendida de nuevo. Si la carga se perdiera repentinamente, es aconsejable mantener el control de combustión en automático siempre y cuando esté equipado con un límite de "carga mínima", y permitir que las válvulas de seguridad escapen hasta tener la seguridad de que la carga no va a ser aplicada de nuevo repentinamente. Después de algunos minutos, es posible estimar la demanda de vapor con más exactitud apagar quemadores evitando que la caldera siga escapando, a fin de ahorrar agua y calor. Si la caldera está equipada con elementos recalentadores y éstos no están equipados con los medios necesarios para asegurar un flujo de vapor que los enfríe, puede llegar a ser necesario apagar la flama rápidamente al perder la carga. Durante cada turno se debe practicar la transferencia del equipo auxiliar, así como el cambio de controles de "manual" a "automático", - lo cual es conveniente efectuar cada una o dos semanas. De este modo el personal estará listo para efectuar las operaciones necesarias en caso de dificultades .

3.14.1 REGLAS PARA OPERACION NORMAL DE UNA CALDERA.

A fin de tener una operación normal en las calderas, alta eficiencia y una buena conservación del equipo en general, es necesario seguir el conjunto de reglas que a continuación se exponen:

a.- La presión de agua de alimentación a las calderas, se debe mantener de 10 a 12 Kg/cm² arriba de la presión del cabezal de vapor.

O sea controlar dentro de estos límites la llamada presión diferencial, la cual se controla regulando el retorno del cabezal de descarga al cabezal de succión en las bombas de agua a calderas.

Esta presión diferencial puede ser ligeramente alterada de acuerdo con la carga de las calderas, ya que el flujo de agua es función de la carga, y del flujo y la presión diferencial depende la abertura de la válvula de control de nivel. De tal manera que, para que ésta controle correctamente el nivel en ocasiones se hace necesario modificar la presión diferencial.

b.- Mantener el nivel correcto en el domo:

Esto se obtiene controlando el flujo de agua a la unidad, ya sea en forma automática, semiautomática o manual.

OBSERVACION:

Cuando la caldera está fría, contiene un volumen determinado de agua, para mantener su nivel correcto; pero cuando la caldera está caliente se podrá mantener el mismo nivel con un volumen menor de agua. Esto se debe a que cuando la caldera está generando vapor, el agua aumenta de volumen debido a las burbujas de vapor que se desprenden.

Lo anterior origina que un aumento repentino en la demanda de vapor de una caldera haga que el nivel de agua en el domo suba momentáneamente, debido al mayor volúmen de burbujas de vapor en el agua. Una disminución en la demanda hará que baje el nivel de agua por razones contrarias a las expuestas. En ambos casos el nivel de agua de la caldera se debe mantener a la mitad del cristal del nivel óptico.

Un alto nivel de agua puede ocasionar arrastre en el vapor que pudiera ser motivo de serios daños a los tubos del sobrecalentador y el equipo en las áreas de proceso. Un nivel bajo ocasionaría muy serios daños a la caldera principalmente en el rolado de los tubos abastecedores.

- c.- Se debe mantener en posición apropiada las compuertas de paso de la caldera (by-pass), con el objeto de que la temperatura de los gases a la salida del calentador no sean en ningún caso inferior a 180°C para evitar la formación de ácidos corrosivos altamente perjudiciales para la caldera. Con el objeto de evitar esto se recomienda hacer lo siguiente:

En el arranque de la caldera se debe conservar - abierto el by-pass para que el aire del tiro no disminuya la temperatura de los gases de salida en el calentador a límites peligrosos, una vez que la caldera está generando más del 30% de su capacidad se empieza a regular el by-pass hasta dejarlo completamente cerrado si la temperatura de los gases lo permite; previamente se debe poner en servicio el precalentador (serpentín de vapor) de aire.

Cuando la caldera opera a muy baja carga se recomienda estar pendiente de la temperatura de los gases de salida y esto decidirá si el by-pass permanece cerrado o se abre.

d.- Temperatura apropiada del sobrecalentador.

Se controla apropiadamente la temperatura en el sobrecalentador de vapor, para que el vapor general tenga la temperatura adecuada.

Para lograr lo anterior es recomendable hacer lo siguiente:

I.- No se debe aumentar el aire a los quemadores de la caldera en forma tal, que sea superior al necesario para una buena combustión.

II.- La flama en los quemadores no debe ser muy alargada para esto es necesario controlar la presión del combustible en límites convenientes.

III.- Hacer una distribución más o menos homogénea dentro del recinto del hogar.

e.- Operación del tiro forzado.

Se debe operar en forma apropiada las compuertas del tiro forzado, ya que un aumento de apertura de estas compuertas hace disminuir el "tiro" del hogar, aumentando el flujo de aire a través de la caldera. (Tiro del hogar es la diferencia de presión del hogar y el extremo de la chimenea).

f.- Operación rutinaria de sopladores de hollín.

Efectuar con regularidad la limpieza de las paredes de los tubos por lo menos cada 48 horas si el combustible usado es gas y cada 8 horas si es combustóleo, con el fin de mantener en óptimas condiciones la eficiencia de la caldera.

g.- Revisar frecuentemente durante la guardia los quemadores principalmente los que operan con combustóleo, una mala regulación de la presión diferencial del combustóleo y vapor de atomización puede ser motivo para la formación de escoria. La presión diferencial debe conservarse en 0.5 Kg/cm^2 .

h.- Control de la torre deaeradora.

Controlar la torre deaeradora en una presión de 2.4 Kg/cm^2 y una temperatura de 135°C para el correcto funcionamiento de las bombas de agua y máxima eficiencia de las calderas.

CAPITULO 4.-

4.- COMBUSTION.

4.1.- COMPOSICION QUIMICA DE LOS COMBUSTIBLES PRODUCIDOS EN MEXICO.

4.1.1.- COMBUSTIBLES SOLIDOS, LIQUIDOS Y GASEOSOS.

Los combustibles producidos en México, cuya energía calorífica se aprovecha en la generación de vapor o para el movimiento de las máquinas de combustión interna, los podemos dividir en 3 grupos de acuerdo con su estado físico: Sólido, Líquidos y Gaseosos.

De acuerdo con su disponibilidad y volumen de consumo, se dividen como sigue:

4.1.1.1. COMBUSTIBLES LIQUIDOS.- Petróleo.- El Petróleo es un combustible líquido, el más empleado en México. Es un producto natural que existe en el seno de la tierra y que se extrae mediante pozos en las zonas productoras. El Petróleo extraído de los pozos se le denomina crudo, y está formado por una mezcla de productos orgánicos denominados hidrocarburos.

Los diferentes crudos que se obtienen de los pozos mexicanos se agrupan en 4 tipos principales.

1.- De base asfáltica.- Con 70% de asfalto sólido, de peso específico elevado muy próximo a 1.0 (0.987), azufre 5% y parafina 0.9%.

2.- De base Mixta.- Con 45% de asfalto sólido y 3% de parafina, su peso específico es un poco menor que el del anterior (0.93) azufre 3.6%.

3.- De base Mixta con predominio de Parafina.- Contienen 17% de asfalto sólido y mayor porcentaje de parafina. Peso específico bajo (0.86-0.88), con 1.8% de azufre.

4.- DE base Nafténica.- No contienen asfalto sólido. Parafina máxima 0.8%, peso específico 0.91 y azufre 2.3%.

Estos productos están constituidos por Carbono en mayor proporción, se guido del Hidrógeno, Azufre, Nitrógeno, Oxígeno y sustancias incombustibles inorgánicas que quedan en forma de cenizas después de la combustión.

UN ANALISIS APROXIMADO ES EL SIGUIENTE :

| | |
|-----------------|---------------|
| Carbono | 82 - 88 % |
| Hidrógeno | 10.9 - 14.8 % |
| Azufre | 1.8 - 5.5 % |
| Nitrógeno | 0.19 - 3.2 % |
| Oxígeno | |
| Cenizas | 0.03 % |

El Petróleo que sale de los pozos contiene una cantidad considerable - de gas, emulsionado en forma de espuma. Estos gases se eliminan en el mismo campo antes de transportarlo por oleoductos a las refinerías, donde se obtienen por destilación las gasolinas, Kerosinas, combustibles diesel y - lubricantes.

Al residuo de la destilación que es un líquido negro, viscoso y sin re siduo sólido se le denomina combustible pesado y es el que se emplea para quemarse en calderas. La composición química elemental de un combustible - pesado es la siguiente:

| | |
|-----------------|-------|
| Carbono | 84.10 |
| Hidrógeno | 12.43 |
| Azufre | 3.41 |
| Cenizas | 0.06 |

*NOTA: Expresado en o/o de volumen.

Los combustibles pesados que distribuye Petróleos Mexicanos para su utilización en la industria, se clasifican de acuerdo con su viscosidad y se les denomina: Tipo Ferrocarril, Vapores y Ligero.

4.1.1.1.1. ANALISIS.- El análisis elemental de un combustibles es importante para calcular su poder calorífico y la cantidad de aire necesaria para la combustión.

Además, es importante considerar ciertas características físicas del combustible, para su mejor aprovechamiento; como son:

Densidad
Viscosidad
Poder Calorífico
Temperatura de inflamación
Agua y Sedimento.

DENSIDAD.- La densidad relativa o "Gravedad Específica", es el cociente -- que resulta de dividir el peso o la masa del combustible a 20°C ó a 60°F - entre el peso o la masa, respectivamente, de un volumen igual de agua destilada a 4°C ó a 60°F, respectivamente.

Es importante conocer la densidad relativa de un combustible puesto -- que con este dato se calcula en unidades de peso (Kgs.) la cantidad entregada en litros de combustible a una termoeléctrica.

La densidad de un combustible es normalmente menor de la unidad, así - que el agua que contamina a un combustible permanecerá en la parte inferior de los tanques.

La densidad de un combustible se determina en una probeta sin graduación. La lectura obtenida en el densímetro deberá corregirse añadiendo 0.00075 por cada grado centígrado arriba de 20°C de la temperatura de la muestra.

VISCOSIDAD.- Es una propiedad relacionada con la fricción interna existente en los líquidos, semi-líquidos y gases. La viscosidad de un combustible puede definirse como la resistencia que opone a fluir.

La viscosidad de un combustible varía ampliamente con la temperatura y deberá tomarse en cuenta esta variación para determinar la temperatura más apropiada para bombearlo o para atomizarlo.

La determinación de la viscosidad se efectúa en el aparato Saybolt Furol, a 122°F, donde 60 ml. de muestra deberán fluir por un pequeño orificio.

El tiempo cronometrado y reportado en segundos será precisamente la viscosidad Saybolt Furol a esa temperatura (S.S.F. a 122°F).

Cuando se trata de determinar la viscosidad de un combustible diesel (o un lubricante) se utiliza un orificio de menor tamaño, reportándose en este caso la Viscosidad en Segundos Saybolt-Universal (S.S.U.) a 100° y a 212°F en lugar de segundos Saybolt-Furol (S.S.F.). También se emplea para este objeto el viscosímetro cinematográfico.

PODER CALORIFICO.- El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor (B.T.U. o Kilojoules) y recuperada por la unidad de peso (lb. o Kg.) del combustible al ser quemado.

Con el poder calorífico del combustible puede calcularse la eficiencia de una caldera.

La determinación del poder calorífico se lleva a cabo quemando una pequeña muestra de combustible en un aparato especial llamado bomba calorimétrica. Todo el calor desprendido es cedido a una determinada masa de agua dentro de un sistema adiabático (sin pérdida de calor al exterior).

Esta cantidad de calor podrá ser determinada precisamente por el incremento de la temperatura del agua. La cantidad de calor así encontrada deberá corregirse por los siguientes conceptos: alambre quemado (el cual inicia la combustión), ácidos formados y azufre presente.

TEMPERATURA DE INFLAMACION.- La temperatura de inflamación indica la temperatura a la cual existe el peligro de que el combustible se encienda.

La determinación se hace elevando lentamente la temperatura de la muestra acercando a intervalos de tiempo y temperatura una llama, hasta el punto donde el combustible se inflama instantáneamente.

AGUA Y SEDIMENTO.- Estas impurezas se encuentran normalmente en un combustible y pueden ser determinadas por centrifugación

4.1.1.2.- COMBUSTIBLES GASEOSOS.- Los combustibles gaseosos conocidos comúnmente con el nombre genérico de GAS son el gas natural que existe en las regiones donde hay petróleo, de donde se extrae para su uso. Este gas está compuesto principalmente por Metano (CH_4) siendo su composición la que se indica en la siguiente fórmula, expresada en % de volumen.

| | |
|--------------|-------|
| Metano | 93.16 |
| Etano | 4.97 |
| Propano..... | 1.58 |
| Butano | 0.29 |

4.1.1.3 COMBUSTIBLES SOLIDOS.- Carbón de Piedra.- Es un combustible natural que se extrae del seno de la tierra y que se ha producido por descomposición de materias vegetales a altas temperaturas y presiones en el curso de los siglos.

Los carbones más importantes son los siguientes, enumerando primero los que han sufrido un proceso menor de transformación y después los carbones más viejos o que han sufrido un proceso mayor de transformación.

La turba, es una madera a medio descomponer, con el siguiente análisis aproximado:

| | |
|-----------------------|------|
| Humedad | 18 % |
| Materia Volátil | 52 % |
| Carbón fijo | 29 % |
| Cenizas | 1 % |

El poder calorífico es de alrededor de 700 Cal/Kg.

El lignito, es un carbón de color café y de constitución leñosa con el siguiente análisis:

| | |
|-----------------------|------|
| Humedad | 6 % |
| Materia Volátil | 43 % |
| Carbón Fijo | 43 % |
| Cenizas | 8 % |

El poder calorífico es de 3600 Cal/Kg.

El Carbón sub-bituminoso es de apariencia laminar brillante pero se ha ce opaco y se rompe cuando se pone al sol. El poder calorífico superior es de 6600 Cal/Kg y su análisis aproximado es de:

| | |
|-----------------------|------|
| Humedad | 12 % |
| Materia Volátil | 40 % |
| Carbón Fijo | 40 % |
| Cenizas | 8 % |

El carbón Bituminoso o Hulla no se desintegra con el tiempo y es la base de carbón más empleada. El poder calorífico superior es de 8400 Cal/Kg y su análisis es:

| | |
|-----------------------|------|
| Humedad | 4 % |
| Materia Volátil | 29 % |
| Carbón Fijo | 60 % |
| Cenizas | 7 % |

La antracita es un carbón muy duro que cuando se rompe produce pedazos brillantes. No se emplea como combustible debido a su alto precio, aún cuando su poder calorífico es muy elevado. El análisis aproximado es:

| | |
|-----------------------|------|
| Humedad | 2 % |
| Materia Volátil | 6 % |
| Carbón Fijo | 87 % |
| Cenizas | 5 % |

4.2 REACCIONES QUIMICAS DE COMBUSTION.

La combustión es un fenómeno químico resultante de la combinación de un combustible con el oxígeno, en donde se desarrolla calor.

La velocidad de combustión depende de la afinidad del elemento combustible con el oxígeno y de las condiciones en las que tienen lugar la combustión.

Una combustión es completa cuando todos los elementos que componen el combustible se han unido con todo el oxígeno que es capaz de entrar en combinación.

4.2.1. MOLECULAS Y ATOMOS.- Para una mejor comprensión de las reacciones de combustión, es preciso incluir unas explicaciones breves de la constitución de la materia.

Todo cuerpo químico está constituido de unidades físicas de materia - que constituyen el límite de división del compuesto. Estas unidades se denominan moléculas y participan de todas las propiedades y naturaleza del cuerpo.

Las moléculas están compuestas de uno o más elementos combinados denominados átomos, que es la mínima porción de cada cuerpo que puede separarse por medios químicos.

Por tanto cada cuerpo está constituido por moléculas y cada molécula de uno o varios átomos.

Los cuerpos se dividen en simples y compuestos.

Cuerpos simples son aquellos que por medios químicos no pueden transformarse en otros más sencillos y se denominan elementos. Estos elementos son relativamente pocos (103 conocidos), y se designan por símbolos.

Los cuerpos compuestos resultan de la combinación de 2 o más elementos y la cantidad de ellos es innumerable. Los compuestos se designan por fórmulas en las que aparecen los símbolos de los elementos que los componen.

Cada elemento se distingue del otro por sus propiedades específicas como son, el peso atómico, el estado físico, el peso molecular y sus temperaturas de fusión, ebullición, etc.

Los cuerpos compuestos tienen también propiedades específicas que los identifican individualmente.

4.2.2. REACCION QUIMICA.- Una reacción química entre los elementos o compuestos es un rearrreglo de los átomos de los elementos en una nueva combinación de moléculas. Estas reacciones siempre ocurren de acuerdo con relaciones de peso fijas e invariables que son características de los elementos que entran en la reacción, también se originan cambios de volumen definidos, basados en el número de moléculas gaseosas reaccionantes y producidas.

4.2.3. REACCIONES DE COMBUSTION.- Las moléculas de los gases elementales como el Oxígeno, Nitrógeno y el Hidrógeno están compuestas por 2 átomos.

Los elementos que intervienen en las reacciones de combustión de acuerdo con la composición del combustible y el aire son Oxígeno, Nitrógeno, Hidrógeno, Carbono y Azufre, designados respectivamente por los símbolos (O, N, H, C y S).

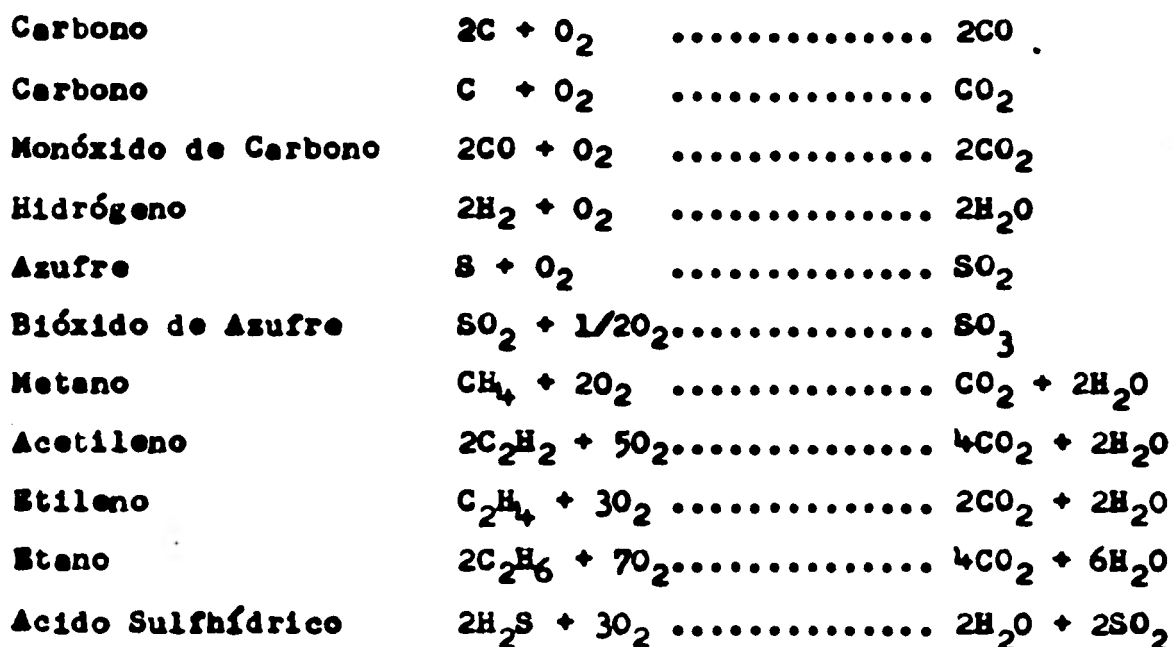
Las características de estos elementos así como de algunos combustibles gaseosos y productos de reacción; se dan a continuación:

| SUBSTANCIAS | SIMBOLO Y FORMULA MOLECULAR. | PESO ATOMICO | | PESO MOLECULAR | | ESTADO |
|--------------------------|------------------------------------|--------------|----------|----------------|------------|---------|
| | | EXACTO | APROXIM. | EXACTO | APROXIMADO | |
| Carbono | C | 12.000 | 12 | | | Sólido |
| Hidrógeno | H | 1.008 | 1 | 2.016 | 2 | Gas |
| Oxígeno | O | 16.000 | 16 | 32.000 | 32 | Gas |
| Azufre | S | 32.06 | 32 | | | Sólido |
| Nitrógeno | N | 14.008 | 14 | 28.016 | 28 | Gas |
| Monóxido de Car- bono | CO | | | 28.00 | 28 | Gas |
| Bióxido de Car- bono | CO ₂ | | | 44.00 | 44 | Gas |
| Metano | CH ₄ | | | 16.032 | 16 | Gas |
| Acetileno | C ₂ H ₂ | | | 26.016 | 26 | Gas |
| Etileno | C ₂ H ₄ | | | 28.032 | 28 | Gas |
| Etano | C ₂ H ₆ | | | 30.048 | 30 | Gas |
| Bióxido de Azu- fre | SO ₂ | | | 64.06 | 64 | Gas |
| Acido Sulfhídri- co | H ₂ S | | | 34.076 | 34 | Gas |
| Agua | H ₂ O | | | 18.016 | 18 | Líquido |
| Aire | | | | 28.85 | 29 | Gas |

Para la producción práctica de calor en la combustión, esencial que los elementos del combustible tengan gran afinidad con el oxígeno. Esto ocurre ya sea en estado libre o combinado en todos los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

La combinación del oxígeno con el combustible, como ya se dijo, se efectúa de acuerdo con leyes fijas. Las reacciones que producen son simples y se pueden computer de acuerdo con los pesos atómicos de cada elemento que interviene en la reacción, o aún mejor, de acuerdo con los pesos moleculares de cada compuesto.

Si consideramos que la combustión es completa y que se suministra la cantidad de aire requerida, las reacciones y combinaciones resultantes se efectúan de acuerdo con las reacciones químicas siguientes:



En la tabla anterior se observa que el Carbono puede combinarse con el oxígeno formando 2 compuestos, el monóxido y el bióxido de carbono. Al quemarse a monóxido de carbono aún no se ha combinado con todo el oxígeno del que es capaz de reaccionar y por lo tanto no está totalmente oxidado.

Al quemarse a bióxido, el carbono se ha combinado con todo el oxígeno posible y la oxidación es completa. El monóxido de carbono puede unirse además con una cantidad adicional de oxígeno para formar CO_2 y de este modo el carbono de la combinación original queda totalmente oxidado.

AIRE.- El oxígeno necesario para la combustión se toma de la fuente natural más barata e inagotable, el aire atmosférico.

El aire no es una combinación química, sino una mezcla física de varios gases: Oxígeno, Nitrógeno y ligeras cantidades de bióxido de carbono, vapor de agua, Argón y otros gases inertes. Para fines de cálculo, el bióxido de carbono y los gases inertes se consideran como porcentaje de Nitrógeno en la mezcla y la composición es la siguiente:

| | % en Volúmen | % en Peso |
|--------------|--------------|-----------|
| O_2 | 21.0 | 23.2 |
| N_2 | 79.0 | 76.8 |

El Oxígeno en los cálculos de las combinaciones con los diferentes constituyentes del combustible se considera separado de su unión mecánica con el Nitrógeno.

El nitrógeno no interviene en la combustión constituyendo una pérdida directa de calor para absorberlo a su paso a través del horno, en relación directa a su calor específico y a la temperatura de los gases a la salida de la caldera. Además no obstante ser una constituyente inútil es necesario considerar su volumen en el diseño de horno y de los tiro de la caldera, si fuera práctico suministrar oxígeno sólo al combustible, no sería requerido.

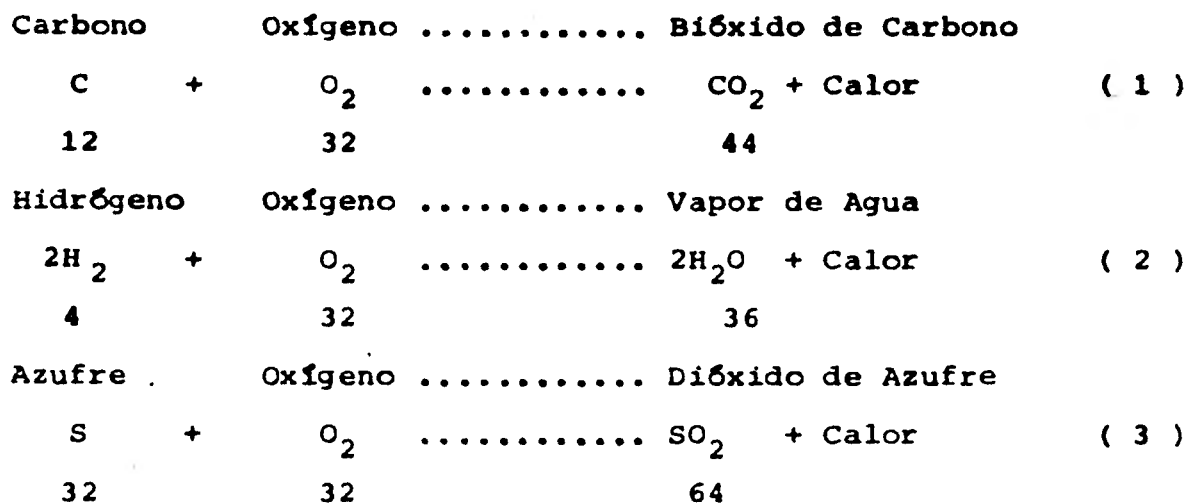
TEMPERATURA.- La velocidad de combustión como ya se ha asentado, depende la afinidad del combustible para el oxígeno y de las condiciones bajo las que tiene lugar la combustión. La principal de estas condiciones es la temperatura.

Con el simple hecho de llevar oxígeno a la presencia de una sustancia combustible, no se origina la combustión. Cada sustancia combustible tiene una temperatura llamada de ignición a la que se debe llevar antes de que reaccione químicamente con el oxígeno y debajo de la cual ésta combinación no se produce. Sin oxígeno y sin haber llegado a la temperatura de ignición no se produce la combustión.

Una vez iniciada la combustión el calor desarrollado en la oxidación del combustible, mantiene la temperatura necesaria para continuar la ignición.

4.2.4.- CALCULO DEL AIRE TEORICO NECESARIO PARA LA COMBUSTION

De acuerdo con las reacciones de combustión y los pesos moleculares de los elementos que intervienen, se tiene:



Las reacciones anteriores indican que 12 partes en peso - de carbono necesitan 32 partes en peso de oxígeno para quemar se totalmente y producir 44 partes en peso de Bióxido de Carbono.

Igualmente 4 partes de Hidrógeno requieren 32 partes de - Oxígeno formando 36 partes de agua; y 32 partes de azufre requieren 32 partes de Oxígeno para formar 64 partes de Dióxido de Azufre.

Con las relaciones de peso anteriores se obtienen las relaciones de Oxígeno/elemento.

| Elemento | Relación de Combinación O ₂ /Elemento | | |
|----------------|--|------|-------|
| C | $\frac{32}{12} =$ | 2.67 | (4) |
| H ₂ | $\frac{32}{4} =$ | 8.00 | (5) |
| N ₂ | No reacciona | | |
| S | $\frac{32}{32} =$ | 1 | (6) |

Conociendo el análisis elemental de un combustible se determina el oxígeno requerido para la combustión multiplicando el porcentaje de cada elemento por los valores de la relación Oxígeno/elemento (4), (5) y (6).

El oxígeno contenido en el combustible disminuye la cantidad de oxígeno requerida.

4.3.- ANALISIS DE LOS GASES DE COMBUSTION.

4.3.1.- PRODUCTOS DE COMBUSTION.

Como ya vimos en las reacciones, los productos de combustión están formados por: CO_2 , N_2 , O_2 , SO_2 , H_2O y cenizas, en proporciones que dependen de la composición del combustible.

El peso del combustible quemado más el peso del aire empleado en la combustión debe ser igual al peso de los gases de combustión más las cenizas. Así se tiene:

$$W_g = (C - Z) + A_p \quad (1)$$

en donde:

W_g = peso de los gases de combustión, por unidad de peso del combustible.

C = unidad de peso de combustible.

Z = fracción de cenizas en el combustible.

A_p = peso del aire prácticamente necesario por unidad de peso del combustible.

De acuerdo con la fórmula anterior se puede calcular fácilmente el peso de los gases de combustión conociendo el análisis del combustible a partir del cual se determina el aire teórico-necesario para la combustión, y se le suma el aire suministrado en exceso en la combustión, de acuerdo con el coeficiente de exceso de aire empleado.

En los trabajos de combustión los gases se analizan expresándose su porcentaje en volumen de gases secos. El volumen de los gases de combustión depende de la presión de los gases y de su temperatura; y se calcula de acuerdo con la ecuación de los gases perfectos $\frac{P}{T} V = \frac{P_0 V_0}{T_0} = R$

Los valores P_o , V_o y T_o se refiere a la presión, volumen y temperatura estándar cuyos valores en el Sistema Métrico son: 1 atmósfera (ó 760 mm. de mercurio), 22.41 litros y 273° absolutos o Kelvin, respectivamente. En el Sistema Inglés el valor de las condiciones estándar son como sigue: presión estándar P_o : 14.7 lbs/plg², Volumen V_o de una libra-mol: 359 pies cúbicos y Temperatura standar T_o : 492° Rankine.

Los valores de la constante general de los gases R , dependen entonces de las unidades escogidas para expresar la presión y la temperatura estándares y el volumen molecular.

En el primer caso:

$$R = 0.082054 \frac{\text{atm. lt}}{\text{gr. mol.}^\circ\text{K}}$$

Y en el segundo:

$$R = 10.71 \frac{\text{lbs/plg}^2 \text{ pies}^3}{\text{lb. mol}^\circ\text{R}}$$

Con estos valores de R ó con los de P_o , V_o , y T_o expresados en las unidades apropiadas, pueden calcularse las condiciones del gas a una temperatura y presión determinadas según la ecuación general de los gases.

El volumen de los gases de combustión se calcula de la siguiente manera:

$$V_g = W_g \frac{RT}{P}$$

EN DONDE:

V_g = Volumen parcial de cada gas de combustión, por unidad de peso del combustible.

W_g = Peso parcial de cada gas por unidad de peso del combustible.

R = Constante general de los gases en las unidades empleadas para las otras variables.

T = Temperatura absoluta de los gases.

P = Presión de los mismos.

La suma de los volúmenes parciales nos da el volumen total de gases de combustión.

4.3.2.- ANALISIS DE GASES.

En un análisis de los gases de combustión se determina -- principalmente el CO_2 y también el CO y O_2 con lo cual se puede establecer si una combustión es completa y cuál es el exceso de aire empleado.

Cuando la combustión es completa no debe haber CO en los gases.

Cuando el exceso de aire aumenta, el % de CO_2 disminuye, -- debido a que el CO_2 queda más diluido en los gases de combustión por la presencia de mayor cantidad de aire.

4.3.2.1.- APARATO ORSAT.

El aparato Orsat es usado generalmente para el análisis de los gases de combustión. Se basa en la absorción sucesiva del CO_2 , O_2 y CO , en soluciones de Potasa Cáustica, Pirogalato de Sodio y Cloruro Cuproso ácido, respectivamente.

El aparato consta de 3 pipetas en las cuales están los -- reactivos empleados para absorber los gases.

Consta además de una probeta graduada en donde se mide la muestra de gas y se hacen las mediciones sucesivas después de cada absorción.

Cada pipeta se conecta a un cabezal superior con válvulas por donde se hace fluir el gas, haciendo descender el líquido de la pipeta hasta una caja que contiene el volumen total de la solución.

La parte inferior de la pipeta tiene una columna de agua que se hace elevar por medio de un frasco y un tubo de hule comunicante. Esta columna de agua tiene por objeto someter el gas a presión para introducirlo a las pipetas y desalojarlo posteriormente durante cada prueba de absorción.

4.3.3.- DETERMINACION DEL EXCESO DE AIRE MEDIANTE EL ANALISIS DE ORSAT.

La relación de volúmenes de los gases de combustión es particularmente importante en los cálculos por el sistema molar, ya que para las mismas condiciones de temperatura y presión el volumen de una mol es constante para todos los gases.

Los cálculos de combustión pueden simplificarse con el uso del gramo mol, como unidad de peso, generalmente conocida como mol. Por las leyes de los gases se establece que iguales volúmenes de gases a una determinada presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas. Los pesos de iguales volúmenes de gases son proporcionales a su peso molecular. Si M es el peso molecular de un gas, 1 mol es igual a M gramos. (unidad gramo-mol.)

A 60°F y a la presión atmosférica el volumen específico del oxígeno es 0.700 lt/gr. Por tanto, una mol de oxígeno tiene un volumen de $32 \times 0.700 = 22.4 \text{ lts.}$ De igual modo a 60°F y a la presión atmosférica el volumen específico del hidrógeno es 11.111 lts/gr. ; y 1 mol. tiene un volumen de $2.016 \times 11.111 = 22.4 \text{ lts.}$ Este volumen (22.4 lts.) es por lo tanto el volumen de un gramo mol. de cualquier gas a las condiciones de presión y temperatura estandar y de igual manera 22.4 m^3 . es el volumen de un Kg-mol en las mismas condiciones. El volumen de una mol. a la presión atmosférica está en proporción directa a la temperatura absoluta.

Como se indicó, las relaciones de moles y relaciones de volúmenes gaseosos, son numéricamente iguales.

El aire con una composición de 21% de O_2 y 79% de N_2 en volumen, es igual a 21 mols. de O_2 y 79 mols. de N_2 en 100 mols. de aire.

En la combustión del combustible tenemos que por cada mol. de C, H_2 y S quemado, se forma una mol. de CO_2 , H_2O y SO_2 respectivamente.

Los análisis de los gases de combustión están hechos sobre la base de volúmenes de gases secos y nos indican las mols. de estos gases por cada 100 mols. de gases totales, que son el CO_2 , CO, O_2 y la diferencia nos dá el N_2 . En la gráfica 1 se puede calcular el exceso de aire en función del $\%$ de CO.

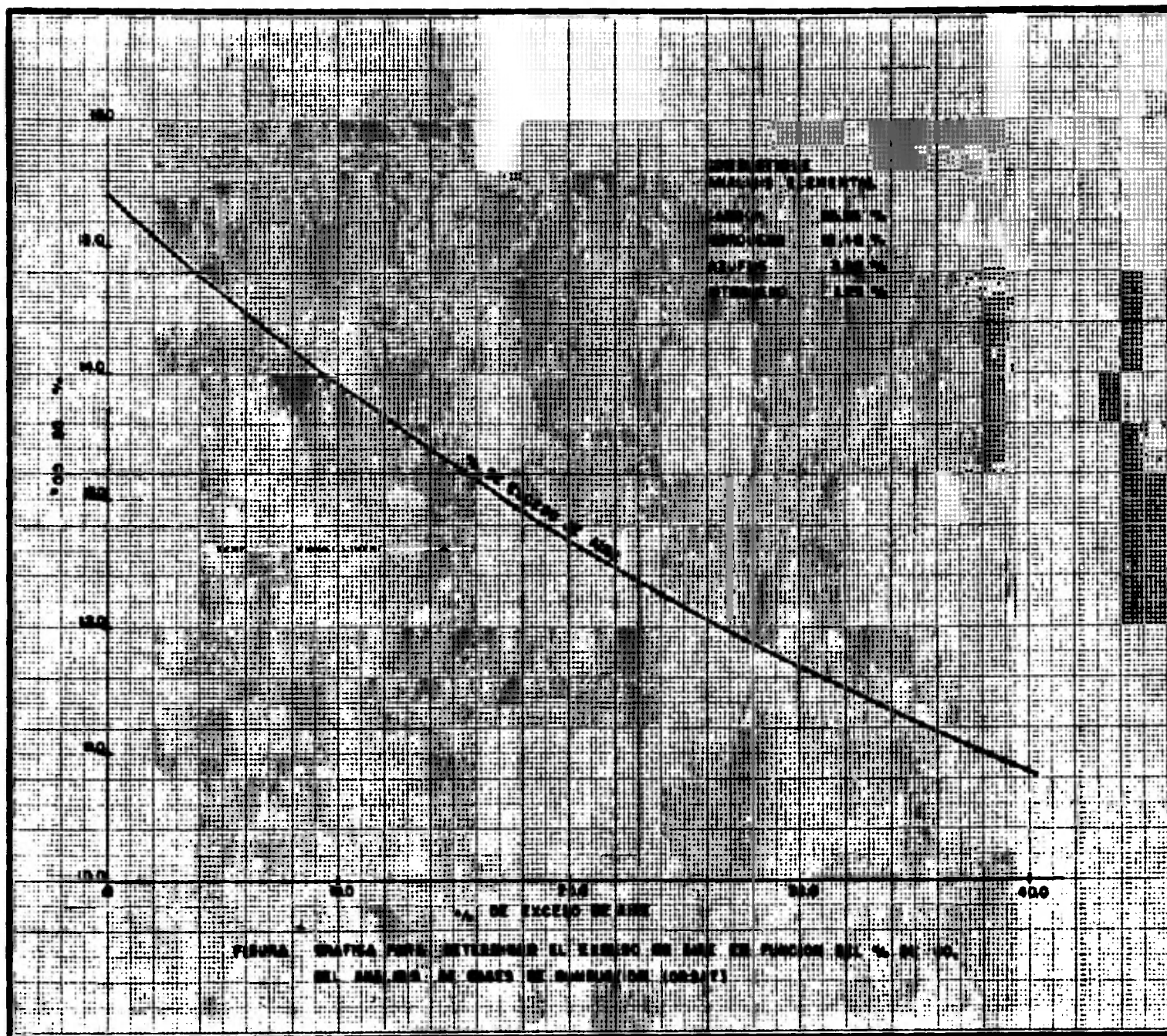


FIGURA GRÁFICA PARA DETERMINAR EL EXCESO DE AIRE EN FUNCIÓN DEL % DE GASES NO QUEMADOS EN CASOS DE COMBUSTIÓN (ORDEN)

Lo que demuestra que el % de CO_2 disminuye cuando aumenta el exceso de aire, debido a que el CO_2 se diluye con los gases de combustión, por la presencia de exceso de aire.

Se puede trazar una gráfica que tenga por abscisas los coeficientes E dados y por ordenadas los porcentos de CO_2 calculados como en el ejemplo anterior, conociendo previamente el análisis elemental del combustible. (figura # 1)

Con ayuda de esta gráfica se vé que el coeficiente de exceso de aire que corresponde al 11.6 % obtenido del análisis de los gases de combustión es:

$$E = 1.30 \text{ (30\% de exceso de aire).}$$

También se puede deducir la siguiente fórmula general para calcular el exceso de aire en función del % de CO_2 en los gases de combustión, deduciéndose del ejemplo anterior:

- Sea: E = coeficiente de exceso de aire buscado.
 P = % de CO_2
 C = Mols. de CO_2 producidos por unidad de combustible.
 G = Mols. de gases secos producidos por unidad de combustible.
 A = mols de aire químicamente necesario para la combustión por unidad de combustible.
 $\% \text{CO}_2$ = $\frac{\text{mols } \text{CO}_2 \text{ produc. / unidad de comb.} \times 100}{\text{mols. de gases totales.}}$

$$\text{Se tiene: } P = \frac{C}{G + (E-1) A} \times 100$$

$$\frac{P}{100} = \frac{C}{G + (E-1) A}$$

$$G + (E-1)A = \frac{100 C}{P} ; (E-1)A = \frac{100 C}{P} - G$$

$$E-1 = \frac{100 C}{AP} - \frac{G}{A} = \frac{100 C - GP}{AP}$$

$$E = \frac{100 C - GP}{AP} + 1$$

$$E = \frac{(100 \times 6.92) - (45.168 \times 11.6)}{48.2 \times 11.6} + 1 = \frac{692 - 523.9}{559.12} + 1$$

$$E = 0.30 + 1 = 1.30$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = 30.0\%$$

La cantidad de O_2 en los gases de combustión es significativa para definir las condiciones del proceso de combustión. Su presencia (exceso de aire) siempre significa que se está introduciendo más aire que el que se está usando. Considerando una combustión completa, los valores bajos de O_2 en los gases reflejan un exceso de aire moderado y pérdidas de calor reducidas.

Una fórmula que se ha usado bastante para calcular el exceso de aire, - de un análisis de Orsat es:

$$\% \text{ de exceso de aire} = \frac{100 \times O_2 - CO/2}{0.264 N_2 - (O_2 - CO/2)}$$

4.4. EFECTOS SOBRE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION DE LAS CALDERAS POR LOS COMBUSTIBLES CON ALTOS CONTENIDOS DE AZUFRE, VANADIO Y SALES DE SODIO Y CALCIO.

El mejoramiento de los métodos de destilación del petróleo ha aumentado la cantidad de productos de alto precio, pero disminuido la cantidad de combustible residual obtenible, por tonelada de petróleo crudo.

Puesto que la mayor parte de los materiales que forman las cenizas en el crudo original se concentran en el combustible residual, se tienen por resultado que el consumidor de combustible pesado recibe un producto con mayor contenido de cenizas.

El aumento de cenizas, juntamente con otros factores, ha dado por resultado el aumento de formación de escoria y el aumento de problemas de corrosión en las calderas que queman combustible residuales.

Estos depósitos y escoria reducen la absorción de calor, el área de paso de gases, causan mayores pérdidas de tiro y a menudo reducen la capacidad total de la caldera.

El alto contenido de azufre en el combustible, da por resultado la formación de mayor cantidad de ácido sulfúrico en las secciones más frías de la caldera y mayor corrosión ácida de los economizadores y precalentadores de aire. Los productos de corrosión forman una capa aislante de depósito y reducen la eficiencia de la caldera. Estos problemas causan a menudo que la caldera tenga que interrumpir su operación y se tenga que poner fuera de servicio para limpiarla y poder así recuperar su eficiencia normal.

Los corrosiones severas causan falla prematura de precalentadores de aire y de economizadores. Todo esto contribuye a dar lugar a problemas su mamente serios en la operación de calderas.

4.4.1 PROCEDIMIENTOS DE PROTECCION DE LOS MATERIALES.

Se han hecho numerosos estudios e investigaciones, tratando de encontrar métodos para controlar y evitar los depósitos en el hogar de las cal deras, en los últimos años.

Algunos métodos atacan el problema desde el punto de vista mecánico y varían desde pequeñas modificaciones al equipo de limpieza, hasta modificaciones en el diseño de la caldera.

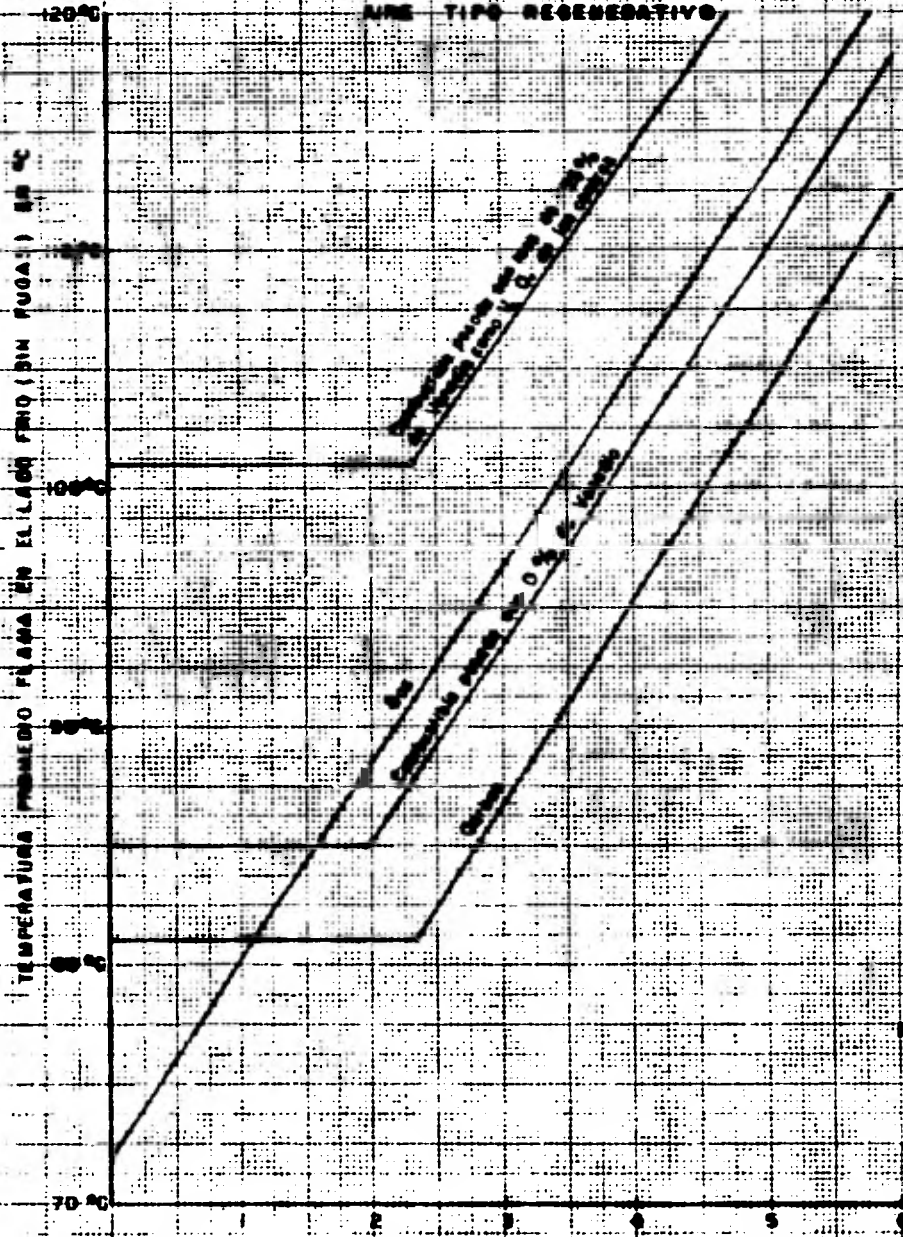
Otros métodos atacan el problema desde el punto de vista químico basándose en la habilidad de algunas sustancias químicas, que agregadas al combustible como tratamiento o introducidas directamente al hogar, para re ducir la adherencia de los depósitos a las superficies de la caldera, alteran su estructura física y química.

No obstante que algo se ha logrado con ambos métodos, aún no se ha en contrado una fórmula completamente satisfactoria, posiblemente por los nu meros factores que influyen la formación de depósitos.

Recientemente, en Alemania se ha estado ensayando con éxito la reducción del exceso de aire para la combustión, habiendo tenido necesidad de modificar los sistemas convencionales de atomización de combustible sin lo cual no puede disminuirse suficientemente el exceso de aire (hasta alrede dor de 1 al 2%).

Una de las armas más útiles para el desarrollo de tratamientos de com bustible para evitar depósitos en el lado de gases calientes de las calde

GRAFICA PARA LA DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE COMBUSTION DE UNA SALERA PARA EVITAR LA CORROSION EN LOS PRECALENTADORES DE AIRE TIPO REGENERATIVO



FIGURA

ras, es el conocimiento de la composición química de estos depósitos.

Además del análisis químico de estos depósitos, su correlación química y su localización en la caldera son importantes.

Estos depósitos pueden ordenarse de acuerdo con el punto en donde se localizan en: depósitos de superficies radiantes, de sobrecalentadores, de superficies que reciben calor por convección, de economizadores y de precalentadores.

4.4.2. LAS IMPUREZAS DE LOS COMBUSTIBLES RESIDUALES.

Cuando el combustible llega al consumidor contiene, además de las impurezas originales del petróleo crudo, cantidades variables de contaminantes

Las fuentes usuales de la ceniza y del azufre en los combustibles son:

- 1.- Compuestos solubles en aceite contenidos en el crudo.
- 2.- Compuestos solubles en el agua que contamina al crudo.
- 3.- Productos de corrosión que resultan del ataque de los compuestos ácidos del crudo sobre las superficies metálicas de los tanques y tuberías.
- 4.- Contaminantes, tales como: agua salada, incrustaciones y catalizadores de la refinería.

En la tabla siguiente se da una relación de las formas en que se cree se encuentran en el petróleo crudo los elementos más comunes que forman las cenizas:

| ELEMENTO | SOLUBILIDAD EN EL PETROLEO | PROBABLE COMPOSICION QUIMICA |
|----------|-------------------------------|--|
| Aluminio | Insoluble | Silicatos de aluminio comple <u>jos</u> en <u>suspension</u> . |
| Calcio | Insoluble | Sales de calcio calcio en suspen <u>sion</u> o disueltas en el agua emulsificada. |
| Hierro | Soluble | Posiblemente comple <u>jos</u> de <u>porfirina</u> . |
| Magnesio | Insoluble | Sales de magnesio disueltas en el agua emulsificada o en <u>suspension</u> en estado micro <u>crystalino</u> . |
| Niquel | Soluble | Probablemente comple <u>jos</u> de <u>porfirina</u> . |
| Silicio | Insoluble | Silicatos comple <u>jos</u> y arena en <u>suspension</u> . |
| Sodio | Insoluble | En su mayor parte como clor <u>o</u> de sodio en el agua emuls <u>ificada</u> o en <u>suspension</u> en es <u>tado</u> micro <u>crystalino</u> . |
| Vanadio | Soluble | Probablemente comple <u>jos</u> de <u>porfirina</u> . |

Las concentraciones de las impurezas, expresadas como partes por millón del óxido del elemento presente en los aceites combustibles residuales, se encuentran entre los límites siguientes:

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Na ₂ O | 2 a 320 |
| V ₂ O ₅ | 2 a 550 |
| Ca O | 0 a 250 |
| Mg O | 0 a 30 |
| Fe ₂ O ₃ | 2 a 350 |
| Si O ₂ | 0 a 275 |
| Al ₂ O ₃ | 0 a 50 |
| P ₂ O ₅ | 0 a 15 |
| Sulfatos como SO ₃ | 0 a 450 |
| Azufre | 0.5 a 3.0 a |

4.4.3. CARACTERISTICAS TERMICAS DE LAS AREAS DE DEPOSITO.

La temperatura es el factor que por sí solo afecta más la formación de depósitos. Este factor es el que determina la clase de depósitos y el lugar en donde se forman. Es conveniente tener un conocimiento completo de las diferentes temperaturas en una caldera para interpretar la formación y la composición de depósitos en el hogar y en el lado de gases.

La figura representa las zonas típicas de temperatura en una caldera, - en donde se localizan los diferentes tipos de depósitos.

Comenzando por el área de mayor temperatura de la caldera, la sección - radiante R₁ puede definirse como todas las áreas que están expuestas a la

R - RADIANTE
 S - SOBRECALENTADOR
 C - CONVECCION
 E - ECONOMIZADOR
 A - CALENTADOR DE AIRE

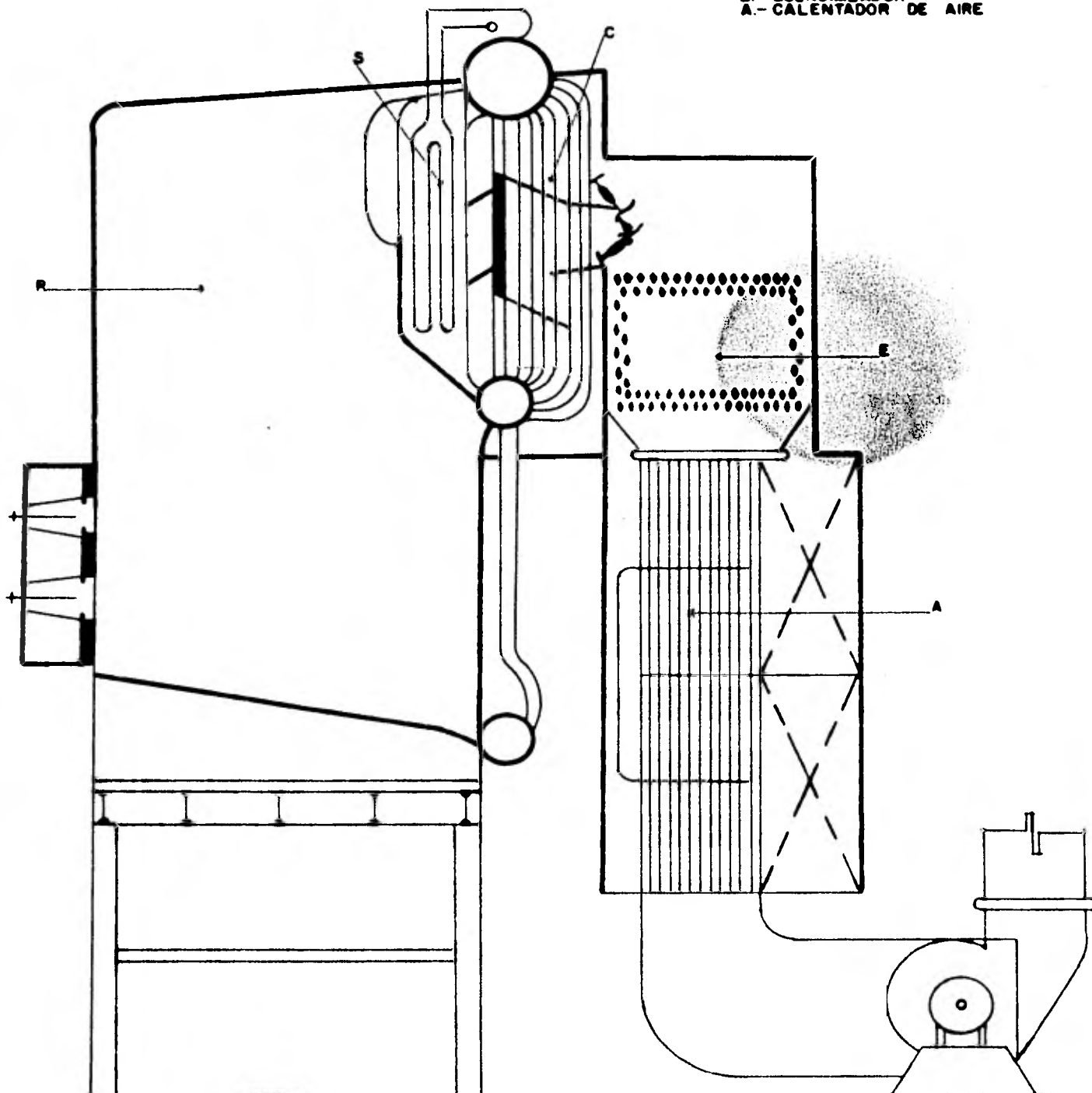


FIGURA AREAS DE DEPOSITOS EN EL LADO DE FUEGO DE UNA CALDERA

radiación directa de la flama. Las superficies expuestas de la sección radiante pueden ser en su mayor parte metal de los tubos (típicos de las calderas modernas de alta presión y alta capacidad) o pueden tener una proporción relativamente grande de material refractario (típico de calderas más antiguas). Las diferencias de temperaturas en el área de radiación son muy grandes. Las temperaturas de la flama o de los gases pueden llegar hasta los 1650°C (3000°F) mientras que las temperaturas de los tubos en las áreas protegidas se encuentran cerca de la temperatura de saturación del vapor, normalmente entre los 232°C (450°F) y los 343°C (650°F) para las calderas que tienen este tipo de problemas.

Cuando se forma escoria en los tubos generadores de vapor se pueden encontrar diferencias de temperaturas del orden de 816°C (1500°F) en un depósito de 2.5 cm. de espesor. La temperatura de metal del tubo puede ser de alrededor de los 260°C (500°F), mientras que la superficie exterior de la escoria puede estar cerca de los 1093°C (2000°F). La escoria adherida a la superficie del refractario, está sujeta a menos diferencias de temperatura.

La sección de sobrecalentamiento S, incluye los sobrecalentadores primarios y secundarios y los recalentadores. Las diferencias de temperatura en esta sección son un poco menores debido a que los gases están más fríos y las temperaturas del metal son más altas que en la sección de radiación.

Las temperaturas de los gases son del orden de 538°C (1000°F) a 1093°C (2000°F), mientras que la temperatura del metal de los tubos es del orden de 316°C (600°F) a 650°C (1200°F). Unas cuantas partes del metal tales como soportes pueden operar a temperaturas mayores. Prácticamente todo el metal expuesto en esta sección es de aleación resistente a las temperaturas elevadas.

El área de convección C, incluye todos los tubos generadores de vapor y los tubos de circulación expuestos a los gases de combustión pero no a la radiación directa del hogar. Las temperaturas de los gases son menores 260°C (500°F) a 816°C (1500°F) y las temperaturas del metal de los tubos están a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura de saturación entre 232°C (450°F) y los 343°C (650°F).

La sección del economizador E, incluye el equipo de calentamiento de agua de alimentación mediante la corriente de gases calientes. Las temperaturas del gas son del orden de 149°C (300°F) a los 427°C (800°F) con -- las temperaturas del metal abajo de la temperatura de saturación entre -- 93°C (200°F) y los 316°C (600°F).

La sección de precalentamiento de aire A, que en el dibujo aparece -- del diseño tubular, incluye tanto el tipo tubular como el tipo regenerativo. Las temperaturas del gas son del orden de los 149°C (300°F) y los -- 316°C (600°F), mientras que las temperaturas del metal son del orden de -- los 93°C (200°F) a los 260°C (500°F).

Puede verse, de esta manera, que existe una amplia gama de temperaturas tanto para el gas como para el metal en las cinco diferentes secciones.

CAPITULO 5

TRATAMIENTO DE AGUA

5.A.- GENERALIDADES.

5.A.1.- AGUA Y SU COMPOSICION.

El agua como se encuentra en la naturaleza, no es totalmente-pura, si así fuera no serían necesarios los análisis de agua ni -- los tratamientos para acondicionarla a los usos a que se destina. Cualquiera que sea su origen, el agua siempre contiene impurezas - en solución o en suspensión. La determinación de estas impurezas constituye el análisis químico de las aguas y el control de ellas, constituye el tratamiento de aguas.

El agua pura es inodora, incolora y sin sabor. Es un compuesto químico expresado por la fórmula H_2O y está formada por 2 volúmenes de Hidrógeno y 1 volumen de Oxígeno combinados químicamente. Sin embargo, debido a que es un solvente casi universal, prácticamente todas las substancias son solubles en agua en cierto grado.

5.A2.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO.

Las fuentes de agua se pueden clasificar en:

- 1.- Aguas de Mar.
- 2.- Aguas de lluvia.
- 3.- Aguas Superficiales (De ríos, lagunas, lagos y depósitos improvisados).
- 4.- Aguas Subterráneas (De manantiales, pozos poco profundos, y pozos profundos).

La principal fuente de agua sobre la tierra son los océanos,- a donde todas las aguas regresan finalmente. El ciclo del agua es similar a la de un aparato de destilación. El agua se evapora de la superficie de la tierra por la acción de calor solar, formando-

las nubes. Estas nubes en contacto con corrientes de aire frío, - se condensan precipitándose en forma de lluvia o de nieve.

El agua de lluvia en el momento en que se forma es químicamente pura, pero a medida que pasa por la atmósfera, va disolviendo - Oxígeno, Nitrógeno y gas carbónico, que son los gases que componen el aire. La cantidad disuelta de estos gases está en proporción - con la presión de ellos en la atmósfera. A su paso también encuentra materias que están en suspensión o disueltas en la atmósfera; tales como polvo, humo, gases, bacterias y esporas de micro-organismos.

El agua de lluvia al pasar por la atmósfera y al penetrar a - través de las capas superiores del suelo, absorbe gas carbónico, - con el cual forma ácido carbónico. Este compuesto incrementa el - poder solvente del agua, de tal modo que disuelve cierta cantidad de productos minerales de la tierra o de las rocas con las que entra en contacto.

De esta agua, aproximadamente $1/3$ regresa al océano por medio de corrientes superficiales y $2/3$ se evapora o se va al seno de la tierra para aparecer en lagunas y pozos, o llega finalmente al - - océano por medio de corrientes subterráneas.

El agua que se obtiene de corrientes superficiales, puede estar turbia por la presencia de arcillas y barro. Los terrenos agrícolas contribuyen a la inclusión de la materia orgánica. Está expuesta a contaminación por desechos animales y humanos, aguas negras de ciudades, aguas industriales de desecho y en las inundaciones, los pantanos pueden descargar sus aguas a las corrientes de - agua superficiales acarreando materia vegetal y en descomposición, color y microorganismos.

Las aguas superficiales obtenidas de lagunas, lagos y depósi-

tos encerrados son similares a las aguas de ríos; sin embargo, dentro de estas masas de agua tiene lugar una auto-purificación y la calidad del agua puede cambiar considerablemente.

Las aguas subterráneas obtenidas de pozos poco profundos, pueden ser duras o suaves dependiendo de las características minerales de las áreas circundantes. Con la filtración natural a través de la arena se elimina la turbiedad y gran parte de la materia orgánica.

Las aguas de los pozos profundos son clara e incolora debido, como ya se dijo a la filtración que tiene lugar a través de las capas de arena.

Las aguas de lagunas son similares en sus características al agua obtenida de los pozos que están en las áreas circunvecinas, sin embargo, las aguas de las lagunas y ríos están más expuestas a afectarse por contaminación natural.

5.A.3.- IMPUREZAS.

Las impurezas que pueden estar presentes en el agua, como ya se describió, pueden dividirse en sólidos en suspensión, sólidos disueltos y gases disueltos.

Los sólidos en suspensión son los que no se disuelven en el agua y pueden ser eliminados por medio de filtración, por ejemplo: arena, arcilla, etc.

Los sólidos disueltos como su nombre lo indica, son compuestos que se encuentran disueltos en el agua y que no pueden separarse por filtración. Ejemplo: La presencia de dureza o de cloruros en el agua.

Los gases pueden estar disueltos en el agua y se pueden eliminar por ebullición de ésta.

Todas estas impurezas del agua natural o cruda son causa de -

dificultades, de más o menos importancia, por lo que se hace necesario determinar su concentración para posteriormente eliminarlas mediante un tratamiento adecuado.

A continuación se enlistan las impurezas más comunes en las aguas crudas y se mencionan los problemas a que dan origen.

1) TURBIEDAD.- Le imparte apariencia desagradable al agua. Forma depósitos en las líneas, equipos de proceso, calderas, etc. Es causa de interferencias en la mayoría de los procesos.

2) DUREZA.- Constituida por las sales de calcio y magnesio, es la causa principal de las incrustaciones en equipos de intercambio de calor, calderas, líneas de alimentación, etc.

3) ALCALINIDAD.- Formada por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, contribuye a la formación de espuma en agua de calderas y a los arrastres de sólidos con el vapor. Causa la fragilización del metal. Los bicarbonatos y carbonatos producen gas carbónico (CO_2) que es una fuente de corrosión.

4) ACIDEZ MINERAL.- Producida por los ácidos sulfúricos, clorhídrico y nítrico, es causa de corrosión.

5) GAS CARBONICO.- (CO_2).- Es causa de corrosión en líneas de vapor, y de condensado.

6) SULFATOS.- Incrementan el contenido de los sólidos disueltos del agua. Combinado con el calcio forma incrustación de sulfato de calcio.

7) CLORUROS.- Incrementan el contenido de los sólidos disueltos del agua y aumentan su carácter corrosivo.

8) NITRATOS.- Incrementan los sólidos disueltos; pero no es de mucha significación.

9) SILICE.- Produce incrustaciones en calderas y sistemas de enfriamiento. Produce depósitos en los álabes de las turbinas, por vaporización junto con el vapor de agua.

10) FIERRO.- Causa depósitos en líneas de agua y en calderas. Ataca las resinas de intercambio iónico.

11) MANGANESO.- Causa depósitos en líneas de agua y en calderas. Ataca las resinas de intercambio iónico.

12) ACEITE.- Produce incrustaciones, lodos y espumas en calderas, impide el intercambio de calor actuando como aislante.

13) OXIGENO.- Causa corrosión del metal en calderas, calentadores, líneas de condensado, etc.

14) ACIDO SULPHIDRICO.- Produce olor fétido al agua. Causa corrosión.

15) AMONIACO.- Causa corrosión de la aleación de cobre y zinc por formación de complejos solubles.

16) SOLIDOS DISUELTOS.- Es la medida de la cantidad total de materia disuelta. Una alta concentración de sólidos disueltos es perjudicial debido a que produce espuma en agua de calderas, favoreciendo los arrastres.

17) SOLIDOS EN SUSPENSION.- Es la medida de la cantidad total de materia insoluble. Causa obturación de las líneas de agua, depósitos en calderas y equipos de intercambio de calor.

18) MATERIA ORGANICA.- Produce corrosión, depósitos y espuma en calderas.- Contamina las resinas de intercambio iónica.

5.A.4.- DETERMINACIONES QUE DEBEN EFECTUARSE EN AGUAS CRUDAS

De acuerdo con las impurezas contenidas en un agua cruda, es necesario valorar su contenido mediante el análisis químico. Sus principales constituyentes son las materias minerales disueltas, - las cuales se clasifican en elementos con carga eléctrica positiva llamados Cationes y elementos con carga eléctrica negativa denominados Aniones.

CACIONES.- Los cationes que comunmente se encuentran en el agua son el Calcio, Magnesio y el Sodio, los cuales están combinados formando sales con los aniones. Otros cationes que pueden existir en el agua en menor proporción, son el fierro y el manganeso.

ANIONES.- Los aniones comunmente presentes son los bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y en aguas contaminadas los nitritos.

La sílice es también otro anión que se encuentra siempre en las aguas en forma de silicatos solubles y en ocasiones en estado coloidal.

GASES.- Los gases que encuentran en el agua cruda son el bióxido de carbono, el oxígeno y el nitrógeno. En algunas ocasiones contiene gas sulfhídrico y metano.

5.A.4.1.- UNIDADES EN QUE SE REPORTAN LAS CONCENTRACIONES.

En el análisis de un agua es necesario determinar la presencia de estas substancias las que se encuentran en cantidades extremadamente pequeñas. Es por esta razón que el resultado de un análisis de agua se expresa en parte por millón (p.p.m.) en vez de expresarlo en porcentaje.

Debido a que se determinan diversos constituyentes en un análisis de agua, varios de éstos se reportan en una unidad común de peso, es decir referido a la unidad de peso de otra substancia que es el carbonato de calcio de fórmula química CaCO_3 . Cuando los constituyentes se reportan a esta manera se pueden sumar o restar directamente, sin necesidad de hacer conversiones a las equivalencias. La tendencia actual es sin embargo, expresar los resultados de un análisis en Equivalentes por millón (e.p.m.) que se obtienen dividiendo su concentración expresada en p.p.m. entre su peso equivalente (peso molecular entre su valencia) o si está expresada su

concentración en p.p.m. de CaCO_3 , dividiendo ésta entre 50 que es el peso equivalente del CaCO_3 .

5.A.4.2.- DETERMINACIONES ANALITICAS.

Para llevar a cabo un análisis de agua cruda es necesario - - efectuar las siguientes determinaciones.

1) Dureza Total.- Con esta determinación se obtiene el contenido total de Calcio y Magnesio, reportado en partes por millón de Carbonato de Calcio (p.p.m. de CaCO_3).

2) Dureza de Calcio.- Se obtiene exclusivamente el contenido de Calcio expresándolo en p.p.m. de CaCO_3 . La diferencia de la Dureza Total menos la Dureza del Calcio nos da el contenido de Magnesio como CaCO_3 en p.p.m.

3) Alcalinidades.- Mediante esta determinación se obtiene el valor de los aniones alcalinos (Bicarbonatos y Carbonatos), mediante la neutralización total con una solución valorada de ácido (Sulfúrico o Clorhídrico) aprovechando la propiedad de 2 sustancias - indicadoras denominadas Fenolftaleína y Anaranjado de Metilo, de cambiar el color al pasar de un medio alcalino a un medio ácido o viceversa.

Por esta razón estas determinaciones se llaman Alcalinidad a la Fenolftaleína y Alcalinidad al Anaranjado de Metilo.

4) Cloruros.- Los aniones que se determinan normalmente en un agua cruda además de los bicarbonatos y carbonatos son los cloruros, los cuales se encuentran combinados en forma de cloruro de sodio, o en forma de cloruros de calcio y magnesio constituyendo - en estos últimos casos, junto con los sulfatos, de calcio y magnesio, la dureza permanente del agua o dureza de no carbonatos.

5) Sulfatos.- Este anión se encuentra combinado en la misma forma que los cloruros.

6) Nitratos.— Es un anión que se encuentra generalmente en muy baja concentración en el agua (0 a 5 p.p.m. aproximadamente), y como prácticamente no produce ningún efecto perjudicial, rutinariamente no se determina más que para fines especiales de cálculo.

7) Sílice.— Esta determinación es muy importante en vista de que este compuesto produce incrustaciones muy duras y adherentes al metal, por efectos de calentamiento.

8) Gas Carbónico.— El gas carbónico disuelto en el agua también se determina en un análisis rutinario de agua.

9) Sólidos Totales.— Los sólidos totales del agua se determinan por evaporación. Si previamente se filtra el agua se obtienen únicamente los sólidos disueltos.

10) Conductividad.— Se hace uso de la propiedad de las sustancias disueltas de conducir la corriente eléctrica para medir su conductividad y relacionarla posteriormente a la cantidad de sólidos disueltos.

11) pH.— Es una determinación muy importante para precisar el grado de acidez o alcalinidad de un agua. Se expresa en unidades del 0 al 14. Un pH de 7, corresponde a un agua neutra, valores menores de 7 denotan acidez y arriba de 7, indican alcalinidad.

Por definición el pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones Hidrógeno en el agua. El producto de la concentración de iones Hidrógeno (H^+) y Oxhidrilos (OH^-) como se disocia el agua, es 1×10^{-14} . Cuando la concentración de iones Hidrógeno cambia, también cambia la concentración de iones OH^- en proporción y en dirección opuesta, de tal manera que el producto de las dos concentraciones siempre es 1×10^{-14} . El valor del pH es el exponente de la concentración de iones Hidrógeno sin el signo negativo.

Ciertas sales hacen cambiar estas concentraciones, de allí -- que algunas tengan carácter ácido y otras alcalino.

La expresión de los resultados en un análisis de agua cruda - se expone en el ejemplo siguiente:

| | | | |
|-----------|---|-----|--------|
| Turbidez | - | 0.5 | p.p.m. |
| Sedimento | - | 0.0 | p.p.m. |

CATIONESEXPRESADO COMO

| | | | |
|-------------------|-------|--------|-------------------|
| Calcio | 249 | p.p.m. | CaCO ₃ |
| Magnesio | 79 | " | " |
| Sodio (calculado) | 58 | " | " |
| Totales | 377.6 | " | " |

ANIONESEXPRESADO COMO

| | | | |
|--------------|-------|--------|-------------------|
| Bicarbonatos | 234 | p.p.m. | CaCO ₃ |
| Carbonatos | 0 | " | " |
| Sulfatos | 92 | " | SO ₄ |
| Cloruros | 34 | " | Cl |
| Nitratos | 0 | " | NO ₃ |
| Totales | 377.6 | " | CaCO ₃ |

DETERMINACIONES

| | | | |
|-------------------------------------|-------|-----------|-------------------|
| Dureza total | 319 | " | " |
| Dureza de No Carbonatos | 85 | " | " |
| Dureza de Carbonatos | 234 | " | " |
| Alcalinidad a la Fenilftaleína | 0 | " | " |
| Alcalinidad al Anaranjado de Metilo | 234 | " | " |
| Sílice | 12.5 | " | SiO ₂ |
| Sólidos Disueltos (calculados) | 398.4 | " | CaCO ₃ |
| Conductividad Específica | 643.0 | Micromhos | |
| pH | 7.4 | | |

5.B.- OBJETO DEL TRATAMIENTO DE AGUA.

Al hablar de las impurezas del agua se ha visto que éstas son causa de problemas en los equipos de evaporación, calentamiento, enfriamiento, etc., ocasionando incrustaciones ó corrosiones, que a su vez originan pérdidas de eficiencia y fallas de los equipos con los consiguientes paros costosos al tener que efectuar, cambios de piezas, limpiezas o reparaciones y en algunos casos las consecuencias pueden ser fatales para el personal que opera los equipos.

Es por ésto que se hace necesaria la eliminación de estas impurezas mediante un método adecuado y económico que es lo -- que constituye el tratamiento del agua.

5.C.- TIPOS DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DE LOS EFLUENTES.

Los tipos de tratamiento de agua aplicables a las aguas empleadas en una planta termoeléctrica que básicamente son usadas para el enfriamiento de condensadores, para la alimentación de calderas en las plantas de vapor y para el enfriamiento de máquinas en las plantas Diesel, puede dividirse como sigue:

5.C.1.- TRATAMIENTO EXTERNO.

Llamado así porque todas las reacciones químicas ó los equipos de tratamiento, acondicionan el agua antes de ser alimentada a una caldera. Este tratamiento externo es aplicable también al agua de enfriamiento de condensadores y máquinas diesel.

5.C.2.- TRATAMIENTO INTERNO.

Consiste en adicionar al interior de las calderas algunos compuestos químicos 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 en el interior de la caldera. Se puede considerar también como tratamiento interno los compuestos químicos que se adicionan para acondicionar el agua de enfriamiento del circuito cerrado de las máquinas Diesel.

5.C.1.- TRATAMIENTO EXTERNO.

Los Equipos empleados para el tratamiento externo se pueden -- clasificar de acuerdo con las reacciones que tienen lugar en ellos, en los siguientes sistemas.

5.C.1.1.- DE PRECIPITACION.-

5.C.1.1.1 Equipos de tratamiento con Cal, Cloro y Coagulante - en frío.

5.C.1.1.2 Equipos de tratamiento de Cal -Carbonato en caliente

5.C.1.2.- DE INTERCAMBIO DE IONES.

5.C.1.2.1 Suavizadores de Zeolitas.

5.C.1.2.2 Desalcalinizadores.

5.C.1.2.3. Demineralizadores.

5.C.1.3.- POR NEUTRALIZACION.

5.C.1.3.1. Dosificadores de Acido Sulfúrico a aguas de enfriamiento y además protección de cromatos.

A continuación se describen los distintos equipos de tratamiento mencionados, y la calidad de agua que producen.

5.C.1.1.1.- EQUIPOS DE CLARIFICACION.

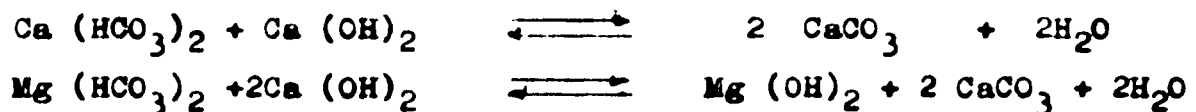
Con estos equipos se consigue eliminar la turbidez, el color y las materias en suspensión del agua, por lo que también se les denomina floculadores y clarificadores.

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.

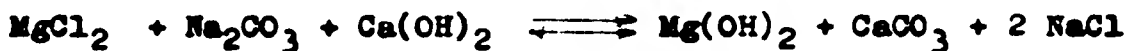
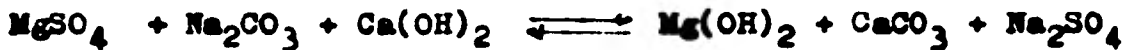
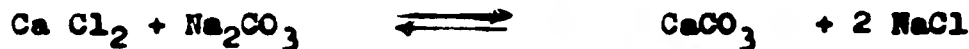
Las sales de Calcio y Magnesio pueden estar en 2 formas: como sales derivadas del ácido carbónico, (Bicarbonatos de Calcio y Magnesio) constituyendo la "Dureza de Carbonatos", y como sales derivadas de ácidos minerales (Sulfatos, cloruros y nitratos de Calcio y Magnesio) formando "Dureza de No Carbonatos".

Mediante la reacción con Cal (Hidróxido de Calcio) se elimina la dureza de carbonatos formándose precipitados de Carbonato de Calcio (CaCO_3) y de Hidróxido de Magnesio (Mg(OH)_2). Se eliminan además los bicarbonatos.

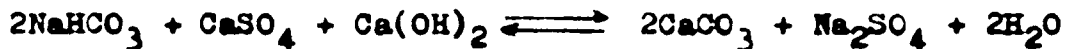
Las reacciones que se producen son las siguientes:



La dureza de no-carbonatos se reduce o elimina 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:



Quando el agua tiene elevada alcalinidad combinada en forma de sales de sodio, puede reducirse mediante la adición de Yeso (Sulfato de Calcio). Reacciones:



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, el Sulfato 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 p.p.m. como CaCO_3 .

Reducción de la dureza de magnesio hasta cualquier valor deseado

Reducción de la alcalinidad total hasta 35 p.p.m. como 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 Bióxido de Carbono.

5.C.1.1.2.- EQUIPOS DE CAL-CARBONATO EN CALIENTE.

Estos equipos operan con las mismas sustancias precipitadoras empleadas en el Equipo de Cal en Frío, es decir, la Cal, el Carbonato de Sodio y el Yeso.

Las reacciones tienen lugar a una temperatura próxima a la de ebullición del agua con lo que se reduce aún más la dureza en vie-

ta de que el Carbonato de Calcio tiene menor solubilidad a mayor temperatura.

Puede emplearse como Coagulante el Oxido de Magnesio (MgO) - que además reduce la sílice hasta valores tan bajos como 1 p.p.m., 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 p.p.m.

5.C.1.2.- TRATAMIENTO POR INTERCAMBIO IONICO.

5.C.1.2.1.- 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 Sodio al contacto con soluciones acuosas que contengan iones Calcio o Magnesio reteniéndolos y sacándolos de solución. Los materiales naturales se conocen con el nombre genérico de "zeolitas" y por extensión a los materiales sintéticos se les da el nombre de "zeolitas sintéticas", aunque su denominación correcta es la de "resinas intercambiadoras de iones". 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 cual los iones de sodio se fijan y se liberan los iones de Calcio y de Magnesio los que se eliminan con el agua de enjuagado que se tira al drenaje. La dureza del agua se puede reducir en esta forma hasta 2 a 4 p.p.m. El contenido de sodio se aumenta en una cantidad equivalente a la dureza eliminada. Se intercambian también todos los cationes divalentes o trivalentes que pudieran estar presente.

5.C.1.2.2.- DESALCALINIZADORES.

La desalcalinización es otro proceso de Tratamiento por intercambio de iones.

El agua que pasa por una zeolita que intercambia la dureza -- por Sodio, zeolita que se puede llamar resina catiónica, por intercambiar iones con carga eléctrica positiva o cationes, es pasada -- posteriormente por una resina aniónica, que intercambia iones con carga eléctrica negativa o aniones. El ión que cede esta resina -- es el Cloruro (Cl^-) tomando los aniones alcalinos de ácidos débi-- les (Bicarbonatos, Carbonatos ó Hidróxidos). La regeneración para restablecer la capacidad de la resina se efectúa también con una -- solución de Cloruro de Sodio (Sal común).

Ambas resinas la catiónica y la aniónica, pueden estar conte-- nidas dentro de un mismo tanque o unidad de intercambio, ya que se emplea la misma solución regeneradora.

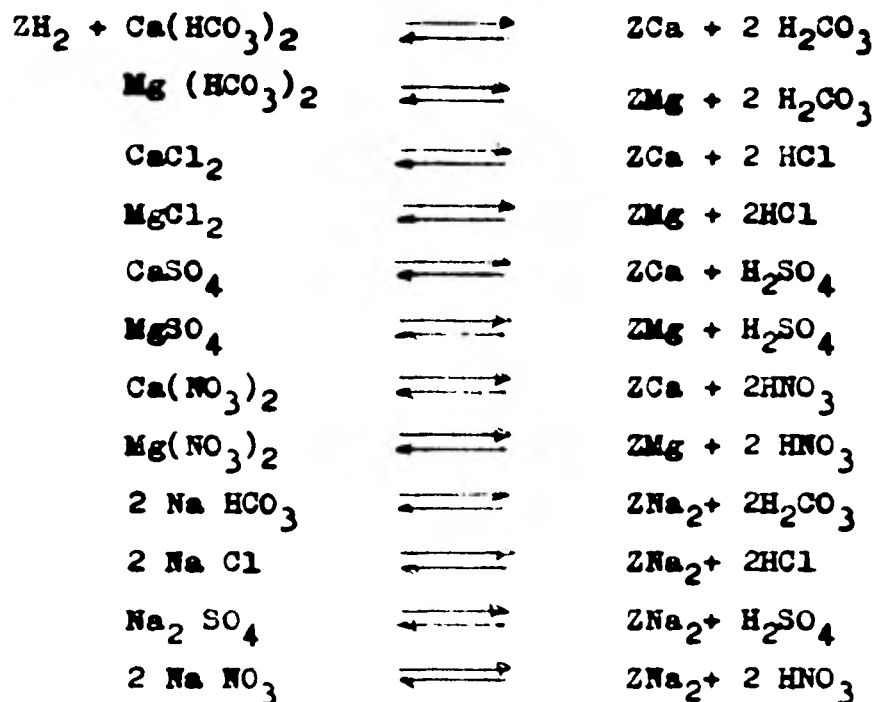
En el agua efluente de este tratamiento se han transformado -- todos los aniones de los ácidos débiles y una parte de los aniones de los ácidos fuertes, como nitratos y sulfatos a cloruros y todos sus cationes a sodio.

La cantidad de sólidos disueltos no cambia.

5.C.1.2.3.- DESMINERALIZADORES.

En la desmineralización o des-ionización como su nombre lo in dica, se eliminan todas las sustancias minerales disueltas en el agua mediante el intercambio iónico.

La unidad Catiónica regenerada con un ácido que puede ser Sul-- fúrico (H_2SO_4) o Clorhídrico (HCl) tiene iones Hidrógeno (H^+) dis-- ponibles para intercambiarlos por los Cationes Calcio, Magnesio y Sodio del agua formándose los respectivos ácidos de los aniones -- presentes, éstos son el ácido Clorhídrico, Sulfúrico, Nítrico y -- Carbónico.

Reacciones:

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.

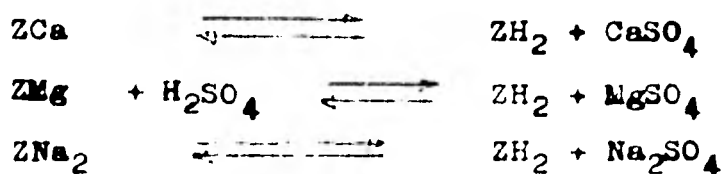
Los ácidos restantes constituyen la Acidez Mineral Libre, — los cuales se retienen al pasar por la unidad aniónica. Esta unidad aniónica se regenera con una solución de Hidróxido de Sodio — llamada comunmente Sosa Caústica (NaOH).

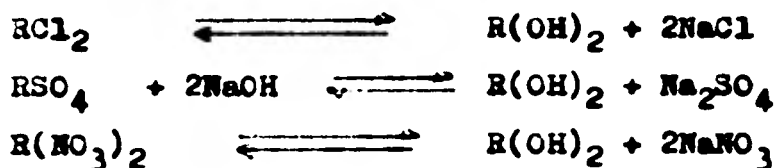
Las reacciones que se producen son las siguientes:



Las reacciones que se producen durante la regeneración son — las siguientes:

Resina Catiónica.





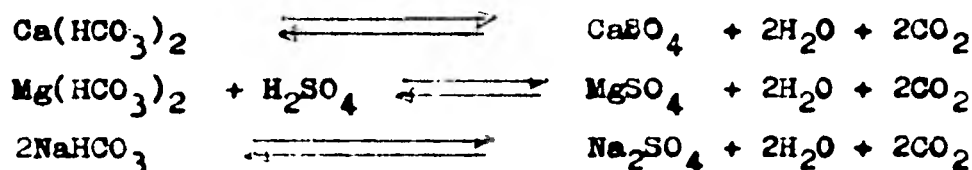
Las resinas aniónicas pueden eliminar también la sílice que quedó en forma de ácido silícico al pasar el agua por la unidad catiónica. A estas resinas se les denomina Fuertemente Básicas. También eliminan el CO_2 .

Las resinas aniónicas que no son aptas para eliminar la sílice (SiO_2) ni el Gas Carbónico (CO_2) se llaman resinas Aniónicas débilmente básicas. Estas resinas pueden regenerarse también con carbonato de sodio.

5.C.1.3.- TRATAMIENTOS POR NEUTRALIZACION.

5.C.1.3.1.- DOSIFICADORES DE ACIDO SULFURICO

Mediante la adición de ácido sulfúrico al agua se elimina la alcalinidad de ésta, transformando los bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio a los respectivos sulfatos, de acuerdo con las reacciones siguientes:



Esta agua es de calidad adecuada en sistemas de enfriamiento ya que al eliminarse los bicarbonatos, no hay oportunidad de descomposición por calentamiento de los carbonatos de calcio y magnesio - incrustantes.

Los sulfatos de sodio y magnesio son muy solubles y su concentración no constituye un problema.

El sulfato de calcio tiene una solubilidad limitada, por lo que basta mantener la concentración de esta sustancia por debajo de su límite de solubilidad (alrededor de 1200 p.p.m.) para evitar problemas de incrustación.

5.C.2. TRATAMIENTO INTERNO.-

Todos los tratamientos externos de agua que ya hemos visto tienen por objeto eliminar al máximo y en las condiciones más económicas las impurezas que trae consigo el agua cruda y que causarían multitud de problemas si se alimentaran a la caldera ocasionando interrupciones frecuentes en la operación. A medida que las presiones de operación de las calderas se incrementa, mayores son las exigencias que se requieren con respecto a la pureza del agua de alimentación.

El agua del interior de las calderas debe reunir ciertas características químicas para prevenir los problemas de incrustación, corrosión, contaminación del vapor y fragilización cáustica del metal. Esto se consigue mediante la dosificación adecuada de sustancias químicas específicas.

Al tratamiento del agua para su operación en el interior de la caldera se le denomina tratamiento Interno o Tratamiento Secundario.

Las sustancias químicas que se agregan al interior de la caldera las vamos a enumerar a continuación.

5.C.2.1. FOSFATOS.-

Los principales fosfatos que se emplean son el Fosfato Trisódico y el Hexametáfosfato de Sodio. Se requieren para precipitar la dureza residual del agua de alimentación originada por fugas en suavizadores, desmineralizadores, arrastres de evaporadores o fallas en los tubos de los condensadores.

Las sales de Calcio reaccionan con el fosfato produciendo un precipitado de Fosfato Tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). El Magnesio

precipita con la alcalinidad del agua como Hidróxido de Magnesio o bien con los fosfatos en forma de Hidroxifosfato. $Mg_3(PO_4)_2$. -- $Mg(OH)_2$. Los productos formados precipitan en forma de lodos que se expulsan, con las purgas.

Cuando la alcalinidad del agua de la caldera es baja, se emplea el Fosfato Trisódico que es alcalino. Si el agua tiene la alcalinidad en sus valores normales se emplea un fosfato neutro como el Hexametafosfato de Sodio o el Fosfato Disódico.

En ocasiones cuando se pretende bajar la alcalinidad del agua de la caldera se emplea un Fosfato ácido como el Fosfato Mono sódico.

Se aconseja mantener una cantidad de fosfato residual -- con objeto de asegurar la precipitación total de la dureza y evitar la formación de incrustaciones de calcio o magnesio. Con esto se asegura también la precipitación de dureza por alguna contaminación del agua de alimentación, bien por rotura de algún tubo condensador o bien con agua de sello de las bombas.

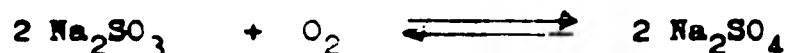
Las concentraciones de fosfato residual varían de 2 a 80 p.p.m. como PO_4 dependiendo de la presión de la caldera y del método de tratamiento empleado.

5.C.2.2. SULFITO DE SODIO.-

El agua de alimentación después de pasar por el deaerador tiene un contenido de oxígeno de 0.005 ml. por litro de agua -- cuando opera a su máxima eficiencia. Este oxígeno puede ser mayor a bajas cargas por operar el deaerador a menor temperatura.

El oxígeno en el interior de la caldera es causa de una corrosión severa caracterizada por ataque centralizado en puntos - que van ahondándose dentro del metal hasta perforar las paredes.

La eliminación del oxígeno se logra mediante la deaeración química por medio de la inyección de desoxigenantes como el sulfito de sodio, de acuerdo con la siguiente reacción.



1 p.p.m. de oxígeno disuelto requiere 7.88 p.p.m. de sulfito de sodio químicamente puro, sin embargo, la cantidad por dosificar es mayor que ésta relación en vista de que es necesario mantener una cantidad de sulfito residual en el agua de la caldera. - La cantidad de sulfito requerido también depende del volúmen de -- purgas y de la pureza del producto.

La concentración del Sulfito residual en el agua de la caldera varía de 5 a 40 p.p.m. como SO_3 , de acuerdo con la presión de operación. Se recomiendan concentraciones de 20 a 40 p.p.m. para presiones hasta de 42 Kg/cm^2 y valores de 5 a 10 p.p.m. para -- presiones de 63.5 Kg/cm^2 . Esta concentración menor se debe a que a la temperatura de operación de las calderas de 63.5 Kg/cm^2 , el sulfito se descompone más rápidamente y manteniendo bajas concen-- traciones se disminuye el consumo y son menores los productos de - descomposición. Aún a presiones mayores de operación se emplea el sulfito de sodio a bajas concentraciones.

La inyección del sulfito es conveniente hacerla en la -- sección de almacenamiento del deareador con objeto de proteger las bombas de alimentación, los calentadores de alta presión, la tubería de alimentación y la válvula de control de agua de alimenta-- ción.

En plantas que tienen sobrecalentadores de tipo de rocío en los que la temperatura del vapor sobrecalentado se controla ro- - ciando el agua de alimentación al vapor, el sulfito disuelto en el - agua sería llevado hasta la turbina donde quedaría depositado en los álabes en forma de incrustación. En este caso el sulfito se alimenta después del punto donde el agua de alimentación se introduce al - sobrecalentador.

5.C.2.3. HIDRAZINA.-

La hidrazina es un producto orgánico empleado también en - soluciones acuosas para la eliminación química del oxígeno.

La reacción de desoxigenación es la siguiente:



Como se vé, los productos de reacción no aumentan la con- - centración de sólidos en el agua de la caldera a diferencia del Sul- - fito de Sodio que produce Sulfato de Sodio al reaccionar con el oxí- - geno.

1 p.p.m. de oxígeno necesita solo 1 p.p.m. de Hidrazina pa - ra reaccionar completamente y la cantidad de Hidrazina residual en - la caldera es del órden de 0.01 a 0.1 p.p.m. por lo que su aplica- - ción resulta económicamente ventajosa.

La Hidrazina se recomienda principalmente para calderas de alta presión donde las temperaturas del agua descomponen rápidamente el Sulfito de Sodio. Se vende en soluciones acuosas del 15% de con- - centración.

Como ventaja sobre el empleo del sulfito además de que no aumenta los sólidos, está la de que puede usarse con sobrecalenta- - dores de tipo de rocío.

Por el calentamiento se descompone cierta cantidad de Hidrazina formándose como subproducto amoníaco.

Esta descomposición se acelera al aumentar la concentración de Hidrazina en la caldera. El amoníaco neutraliza el bióxido de carbono producido por la descomposición de los carbonatos, disminuyendo las características corrosivas del condensado, sin embargo, en presencia de oxígeno este amoníaco ataca el cobre de los tubos del condensador produciendo una corrosión en los mismos. Por este motivo debe vigilarse la concentración de amoníaco en el condensado y mantenerse en menos de 0.25 p.p.m.

En ausencia total de oxígeno en el condensado la concentración de amoníaco no constituye un problema.

5.C.2.4. DISPERSANTES ORGANICOS.-

Son sustancias del tipo de la lignina y los taninos extraídas de la madera o de la corteza de algunas especies de árboles. Se emplean para reducir la tendencia de los lodos al adherirse a las superficies de la caldera. Sin el dispersante los lodos tienden a permanecer en la caldera ya sea acumulándose en los cabezales en forma suelta o como una capa adherente sobre las superficies de la caldera.

Cuando las partículas de lodo comienzan a formarse se cubren con una película de dispersante, impidiendo la agrupación de unas partículas con otras y evitando que se formen masas rápidamente asentables y adherentes.

Estos dispersantes se emplean muy raramente en calderas de alta presión, pero son muy útiles cuando el agua de alimentación es agua suavizada, y como tratamiento del agua de los evaporadores.

5.C.2.5.- ANTIESPUMANTES.

En las calderas que se operan, con alto contenido de sólidos y alcalinidad en el agua, o con materia orgánica disuelta, se tiene el problema de la formación de múltiples burbujas sobre la superficie del agua. La espuma producida puede llegar a llenar el espacio de vapor de la caldera y originar la producción de un vapor contaminado. El agua concentrada en sólidos y arrastrada con el vapor ocasiona depósitos en los sobrecalentadores, tuberías de vapor y álabes de las turbinas.

Los depósitos en sobrecalentadores provocan rotura de tubos por sobrecalentamiento, y los depósitos en las turbinas ocasionan pérdidas de eficiencia.

Para evitar estos problemas es necesario mantener un elevado régimen de purgas, con objeto de mantener los valores de sólidos y alcalinidad dentro de límites determinados.

Esto da por resultado pérdidas considerables de calor, -- por lo que se ha recurrido al empleo de sustancias orgánicas denominadas antiespumantes que inhiben la formación de las burbujas sobre la superficie del agua permitiendo, por tanto, mayores concentraciones de sólidos en el agua de la caldera. Las sustancias -- que tienen estas propiedades anti-espumantes son ésteres polimerizados, poliamidas y alcoholes que se dosifican a la caldera en concentraciones de 1 a 10 p.p.m.

Desde luego que también hay factores mecánicos y de operación que contribuyen a los arrastres y contaminación del vapor los que deben eliminarse para conseguir un vapor de buena calidad.

Estos factores son, un mal diseño de la caldera, separadores mal instalados, niveles altos de operación, y circulación defectuosa por cambios de carga.

Para evitar estos arrastres mecánicos se emplean dispositivos tales como mamparas, separadores ciclónicos y otros tipos de depuradores que desvían el flujo de vapor en la caldera separando el agua que lleva consigo.

5.C.2.6. AMINAS.

Los carbonatos disueltos en el agua de la caldera se descomponen produciendo CO_2 que se mezcla con el vapor y queda disuelto al condensarse éste. Además, el oxígeno que entra al sistema por bombas de condensado y sellos hacen que el condensado tenga propiedades ácidas y corrosivas. El empleo de algunas aminas contrarresta esta agresividad. Las aminas empleadas se dividen en Neutralizantes y Filmicas.

Las aminas neutralizantes tales como la ciclo-Hexilamina $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NH}_2$ y la morfolina $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}$. cuando se alimentan a la caldera se volatilizan con el vapor y se combinan con el CO_2 en el condensado, neutralizando su acidez. La dosificación se controla bajo la base de elevar el pH del condensado a 7.0.

Las aminas filmicas funcionan de manera diferente a las aminas neutralizantes ya que no neutralizan el CO_2 sino que forman una película monomolecular sobre la superficie metálica, repelente al agua, que es una barrera entre el metal y el condensado protegiendo a aquel contra el ataque corrosivo del CO_2 y del oxígeno.

Las aminas empleadas son las de cadena lineal de 10 a 12 carbonos como la hexadecil-amina, octadecilamina, y la di-octadecilamina.

Estas aminas se dosifican en solución al 1% a la línea principal de vapor donde se dispersan fácilmente con el vapor, o bien directamente a la caldera.

La concentración de aminas que debe mantenerse en el condensador es de 0.5 a 1.0 p.p.m. para conseguir una buena protección.

5.C.2.7. NITRATOS.-

Las altas concentraciones de hidróxido de sodio en el agua de la caldera dan lugar a un fenómeno de cristalización del metal - que lo vuelve frágil, quebradizo y finalmente causa la falta del metal. Este fenómeno se denomina Fragilización Cáustica y ocurre en los domos remachados, en el extremo del rolado de los tubos o donde existe alguna pequeña fuga de agua de la caldera. Es condición además, que el metal de la caldera esté sujeto a altas tensiones debido a trabajo frío del metal o a expansiones y contracciones.

En donde ocurren las pequeñas fugas o donde se atrapa el agua de la caldera, tiene lugar por efecto de la evaporación, una alta concentración de sólidos alcanzándose alcalinidades del orden de 75,000 a 500.000 p.p.m. que producen la Fragilización Cáustica.

Para determinar si un agua tiene tendencia a la fragilización se instalan aparatos de prueba especiales llamados Detectores de Fragilización Cáustica.

El nitrato de sodio es una sustancia inorgánica que se emplea como inhibidor de la fragilización cáustica en concentraciones que dependen del valor de alcalinidad cáustica en el agua. Las relaciones de $\text{NaNO}_3/\text{NaOH}$, varían de acuerdo con la presión, de 0.20 a 0.40. (p.p.m.)

5.C.2.8. DOSIFICACION.-

Todas estas sustancias, es decir los fosfatos, sulfitos y demás productos se dosifican a las calderas preparando soluciones en tanques, de donde las toma una bomba de pistón de alta presión y las inyecta directamente en el punto de aplicación que puede ser la lí-

nea de alimentación, deareador, domo de la caldera o línea de vapor. Las bombas deben operar lo más continuo que sea posible para conseguir una protección uniforme.

En algunos casos se dosifican estos productos en forma intermitente, preparando las soluciones en tanques de presión donde son arrastradas a la caldera por medio de una conexión en derivación entre este tanque y la línea de descarga de la bomba de agua de alimentación.

5.C.2.9.- ALCALINIDADES Y pH.

La medición de la Alcalinidad y el pH son importantes para evitar corrosiones. El límite de alcalinidades varía en proporción a la presión de operación. El pH se mantiene generalmente entre 10.5 y 11.6; aunque puede ser inferior, de acuerdo con el tratamiento.

5.C.2.10.- CONTROL DE PURGAS.-

Mediante purgas o extracciones de fondo y purgas continuas se controla la concentración de sólidos Disueltos, Sólidos en suspensión, y Sílice, los cuales deben mantenerse en ciertos límites para evitar arrastres al vapor.

5.D. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA.

5.D.1. PRECIPITADORES DE CAL EN FRIO.

5.D.1.1. EQUIPO.

Los equipos precipitadores de Cal en frío se pueden clasificar en 4 tipos:

- 5.D.1.1.1. INTERMITENTES.
- 5.D.1.1.2. DE SEDIMENTACION CONTINUA.
- 5.D.1.1.3. DE COLCHON DE LODOS.
- 5.D.1.1.4. CATALITICOS.

5.D.1.1.1. TIPO INTERMITENTE.

Los suavizadores de operación Intermitente, se operan por el método de llenado y vaciado. El equipo consiste de 2 o más tanques verticales. Un tanque se emplea para suministrar agua tratada en tanto que el otro tanque se limpia, se llena con agua, se trata con los reactivos y se deja sedimentar. En algunos casos solamente se requiere un tanque de precipitación, si la capacidad de almacenamiento de agua tratada es suficiente para efectuar los ciclos de precipitación sin interrupción del suministro de agua tratada. La operación se efectúa de la siguiente manera: Las cantidades calculadas de Cal, Carbonato de Sodio y coagulantes se agregan juntos a un tanque de dosificación donde se hace una suspensión acuosa que se agrega al tanque de precipitación a medida que se va llenando con agua cruda.

El tanque una vez lleno se agita durante 15 minutos a 1 hora después de este tiempo se suspende la agitación, y se deja el agua en reposo para permitir que se asienten los lodos en el tiempo que sea necesario. El agua clarificada se extrae del tanque

por medio de una tubería móvil que lleva adaptado un flotador de manera de ir sacando siempre el agua de la superficie y evitar -- que se levanten los lodos.

Este tipo de equipo es el más rudimentario y se emplea generalmente en plantas pequeñas. Tiene la ventaja de su bajo costo inicial y es de operación sencilla. Las desventajas son mayores debido a que se requieren varias horas para la sedimentación (de 4 a 8), se requiere una operación manual considerable, mayor espacio de operación y el efluente queda sobre-saturado con carbonato de calcio que puede precipitar posteriormente. Prácticamente está en desuso.

5.D.1.1.2. TIPO DE SEDIMENTACION CONTINUA O TIPO CONVENCIONAL.

En este tipo de equipos el agua cruda se mezcla totalmente y en forma continua con las sustancias químicas.

El tratamiento químico no emplea el colchón de lodos como se verá en el tipo siguiente; sino que se permite que los lodos se asienten en el fondo del suavizador. Se puede construir de concreto o de acero. El precipitador de tanque de acero consiste en un cilindro alto con fondo plano que contiene un cilindro central -- que sirve de zona de reacción y mezcla. El extremo inferior de este cilindro central termina a una distancia tal, arriba del fondo que deja amplio espacio para coleccionar los lodos en el fondo. Las sustancias químicas se dosifican desde el nivel del piso y se bombean a la parte superior del suavizador.

Se usan dosificadores en seco o de solución. En los dosificadores en seco, sale la sustancia del alimentador y se mezcla con agua y la suspensión o solución se bombea a la parte superior del suavizador. La Cal y el Carbonato se alimentan juntos y el -

coagulante por separado. Las sustancias químicas se mezclan con el agua cruda en el tanque central donde reaccionan con la dureza para formar los precipitados que se dirigen hacia abajo debido al flujo descendente del agua. En el fondo de esta cámara central, el agua cambia de dirección y se dirige hacia arriba donde está la descarga cerca de la parte superior de la cámara exterior. El precipitado se sedimenta en el fondo para formar un lodo que se elimina por purgas intermitentes.

El diseño del precipitador debe ser tal que la velocidad ascendente del agua sea menor que la de asentamiento del flóculo, - de otra manera se puede acarrear cantidades apreciables de precipitado. A partículas menores y viscosidad mayor del agua, menor deberá ser la velocidad ascendente del agua.

En el diseño de concreto la cámara central se substituye por un mezclador de agitación rápida consistente de un agitador de tipo de hélices confinado a una cámara relativamente pequeña. El efluente de esta cámara de mezcla fluye a través de una cámara de floculación empleada para asegurar la formación de los precipitados del tamaño adecuado, por la acción de paletas de rotación lenta. El agua fluye después a un depósito diseñado para permitir una sedimentación efectiva del lodo por un período de 4 horas - - aproximadamente. Se emplean diversos tipos de recolección de los lodos.

Un tratamiento posterior de recarbonatación con gas carbónico, o tratamiento con ácido se emplea antes de la filtración para prevenir la formación de carbonato de calcio en el medio filtrante y producir un efluente estable que no cause incrustación ni -- corrosión.

Las ventajas de este tipo de tratamiento son: su fácil adaptación a cualquier problema de suavización en frío y el mínimo de mantenimiento y supervisión. En la Figura # 1, se muestra un precipitador de tipo Convencional.

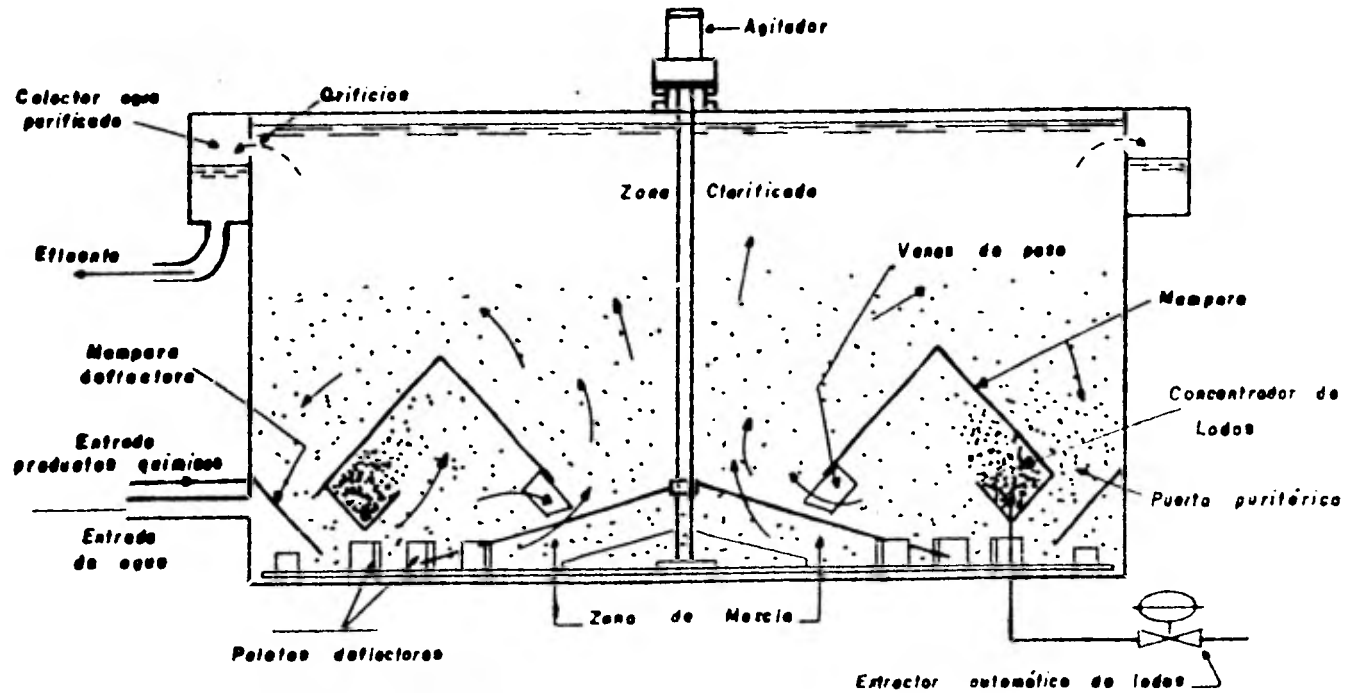


Fig. No. 1.- Precipitador tipo Convencional.

Las desventajas son el gran espacio requerido, costos de construcción relativamente alto y que el efluente necesita recarbonatarse para conseguir la estabilidad.

5.D.1.1.3. TIPO DE COLCHON DE LODOS.

En la precipitación en frío ha sido posible mejorar los resultados con el desarrollo de las unidades de contacto de lodos.- Básicamente estas unidades operan bajo el principio de cristalización de una solución sobresaturada que pasa filtrándose en dirección ascendente a través de un colchón de lodos previamente formado para obtener una completa precipitación. El agua cruda se mezcla íntimamente con los lodos previamente precipitados y con la cal, carbonato y coagulante.

Existen varias ventajas con este procedimiento.

1.- Debido a que la cal se alimenta en forma de suspensión, en el tipo anterior, esta cal se asienta con los lodos precipitados antes de que tenga tiempo de reaccionar con la dureza del agua cruda y por lo tanto se pierde cierta cantidad de cal. En el tipo de colchón de lodos, esto no ocurre debido a la filtración ascendente a través de la cama de lodos, resultando en un aprovechamiento total de la Cal.

2.- Con el íntimo contacto del agua tratada con una gran masa de sólidos se evita la sobre-saturación del Carbonato de Calcio que tiene lugar en el tipo anterior y se evita la post-precipitación o la necesidad de recarbonatar el agua.

3.- Con la filtración a través de la cama de lodos se obtiene un efluente bastante claro de unas 10 p.p.m. de turbidez por lo que la filtración subsecuente a menudo no es necesaria.

4.- Se consigue un tiempo de retención hasta de 1 hora más o menos por lo que las unidades son más compactas, ocupando menos espacio que el tipo de sedimentación continua.

Existen varios diseños de precipitadores de tipo contacto de lodos.

5.D.1.1.3.1. DISEÑO VERTICAL.

Se construyen de acero o de concreto, con capacidades aproximadamente de 20,000 a 40,000 litros por día. La cámara exterior -- consiste de una sección cónica con la base mayor en la parte alta. Tiene una cámara interior más pequeña de sección cónica o piramidal con su base dirigida hacia abajo. Ver Figura # 2.

El agua cruda y las sustancias químicas se introducen por la parte superior de la cámara interior donde se mezclan completamente por medio de un agitador mecánico, movido con motor eléctrico e instalado en el centro de esta cámara. Los dosificadores químicos pueden ser del tipo de dosificación en seco o en húmedo.

El dosificador en seco se emplea para las unidades grandes.-- Los dosificadores en húmedo, dosifican la cal en forma de suspensión a una concentración del 5%. Cuando se va a dosificar carbonato de Sodio con el tipo húmedo, se acostumbra disolverlo y alimentarlo junto con la cal en el mismo dosificador. El coagulante se disuelve y se dosifica por separado.

Cuando se emplean dosificadores en seco, se usan alimentadores por separado para la cal, carbonato de sodio y el coagulante.

El agitador mecánico consiste de una serie de aspas montadas en una flecha vertical, movidas por un motor eléctrico con un reductor de velocidad. La velocidad varía de acuerdo con los tamaños, pero generalmente se trabaja a velocidades en el extremo de las aspas, entre 15 a 50 mts. por minuto. En unidades grandes se

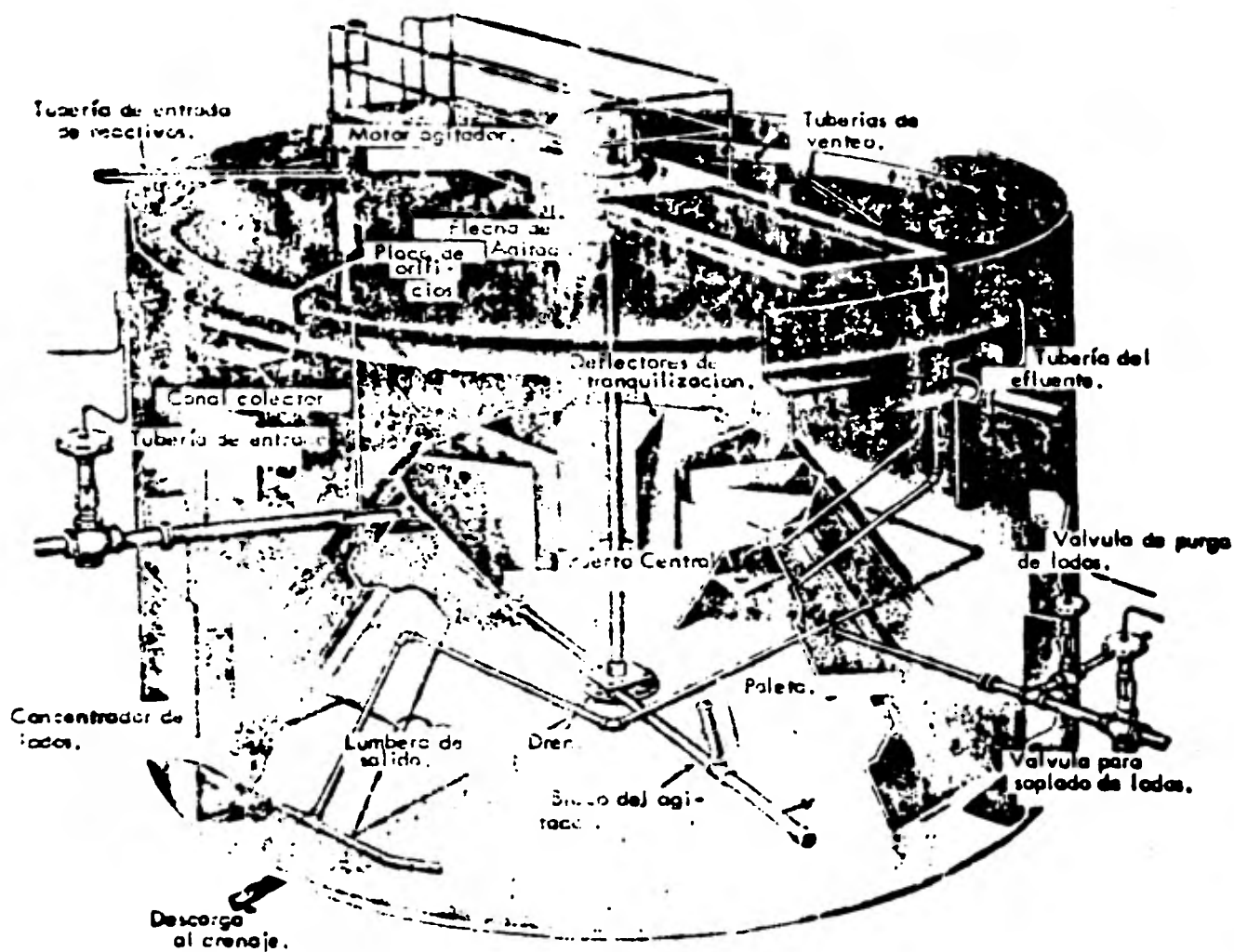


Fig. No. 2.- Corte parcial de un precipitador vertical metálico mostrando su construcción interna.

emplean motores con velocidad variable.

Al reaccionar las sales de Calcio y Magnesio con los reactivos adicionales, se producen precipitados que se mantienen en suspensión por medio de la agitación. El agua tratada con sus precipitados en suspensión fluye lentamente hacia el fondo de la cámara central, de donde emerge por una serie de mamparas invirtiendo la dirección del flujo y ascendiendo lentamente por la cámara exterior. La velocidad vertical en la parte inferior de la cámara, es suficiente para mantener los precipitados en suspensión. Debido al diseño cónico de la cámara exterior, el área aumenta -- gradualmente a medida que es mayor la altura. Consecuentemente la velocidad vertical del agua tratada, constantemente decrece al ir ascendiendo a través de la cámara exterior. Finalmente se alcanza un nivel donde se expanden más los lodos. Más arriba pasa el agua a un sistema de colección y de allí se envía al servicio directamente, o bien a tanques de almacenamiento.

El nivel de lodos se conserva constante mediante purgas de una magnitud igual a la cantidad de precipitados nuevos formados; esto se puede hacer automáticamente. La operación de purga se hace de un concentrador de lodos integral. Cuando se incrementa el flujo, se eleva el nivel del colchón de lodos y viceversa. Sin embargo, debido a que el área transversal va aumentando con la altura, hay un amplio factor de seguridad si se incrementa el flujo. Por el contrario, si se disminuye el flujo, el colchón baja, pero debido a que el área transversal decrece al descender, el colchón se mantiene activo y funciona eficientemente. Por lo general la gama en la que funciona satisfactoriamente este tipo de equipo es desde un 20% de la capacidad de diseño, hasta un 110% como límite superior. Los sólidos en el colchón se encuentran entre el 1 y 2%

y en el concentrador de lodos de 10 a 15%.

5.D.1.1.3.2. DISEÑO HORIZONTAL.

En este tipo la cámara exterior es rectangular y la cámara interior está formada por 2 rampas de fierro colocadas en forma de V invertida. La cámara exterior es de fierro en los equipos pequeños, y de concreto en los equipos grandes. Los agitadores mecánicos están colocados en forma horizontal, cerca del fondo. La velocidad en el extremo de las aspas varía desde 12 hasta 36 mts. -- por minuto. Los dispositivos para el movimiento de los agitadores se hallan al exterior.

El agua cruda llega por un canal exterior que tiene varias rampas en las cuales el agua choca y se desvía con objeto de que se mezcle intimamente con la suspensión de cal y la solución de -- coagulante que recibe en este lugar. El agua cruda se conduce a lo largo del tanque por un canal superior central que tiene en su fondo varios orificios provistos de tubos por los que pasa el agua a la zona de mezcla, en donde se forman los precipitados y aumentan de tamaño por efecto de la agitación lenta. Posteriormente el agua y los lodos son expulsados por la corriente de agua a la cámara exterior, donde va subiendo lentamente a través del colchón de lodos. El agua clara se recoge por unos canales perforados colocados en la superficie del agua y conducida al almacenamiento o al servicio.

Los lodos se van acumulando en el concentrador que está en el fondo del tanque, de donde se extraen por purgas periódicas.

El dosificador en seco consiste de una tolva cuyo fondo lo constituye una banda transportadora movida por un motor con reductor de velocidad para ajustar la velocidad de la banda. También puede mover el motor a un sinfín para efectuar la dosificación.

Los reactivos caen a un tanque con agua en constante agitación, donde se forma la suspensión o solución y así se vierten al agua de alimentación. Ver Figura # 3.

En el dosificador en húmedo, la mezcla de reactivos o la solución se prepara en un tanque y se dosifica al precipitador por gravedad mediante un tubo decantador que se hace descender proporcionalmente al flujo de agua, o bien mediante una bomba dosificadora. Ver Figura # 4.

5.D.1.1.4. CATALITICO.

Llamado también Spiractor, consiste en un tanque cónico vertical lleno hasta $2/3$ de su altura con un material granulado que puede ser calcita o arena. El tanque puede operar a presión o ser de tipo abierto. El agua cruda y las sustancias químicas entran tangencialmente cerca del fondo del cono y el flujo, toma una dirección ascendente en espiral a través de la cama del material de relleno. Ver Figura # 5.

El carbonato de calcio formado por la reacción química, se deposita sobre los granos catalizadores con lo que estos aumentan de tamaño. Estos granos mayores, se van al fondo de donde son expulsados por purgas periódicas. Los dosificadores de reactivos pueden ser del tipo Seco o Húmedo.

El tiempo de retención del agua es de 8 a 12 minutos.

Este tipo de equipo tiene actualmente muy poca aplicación.

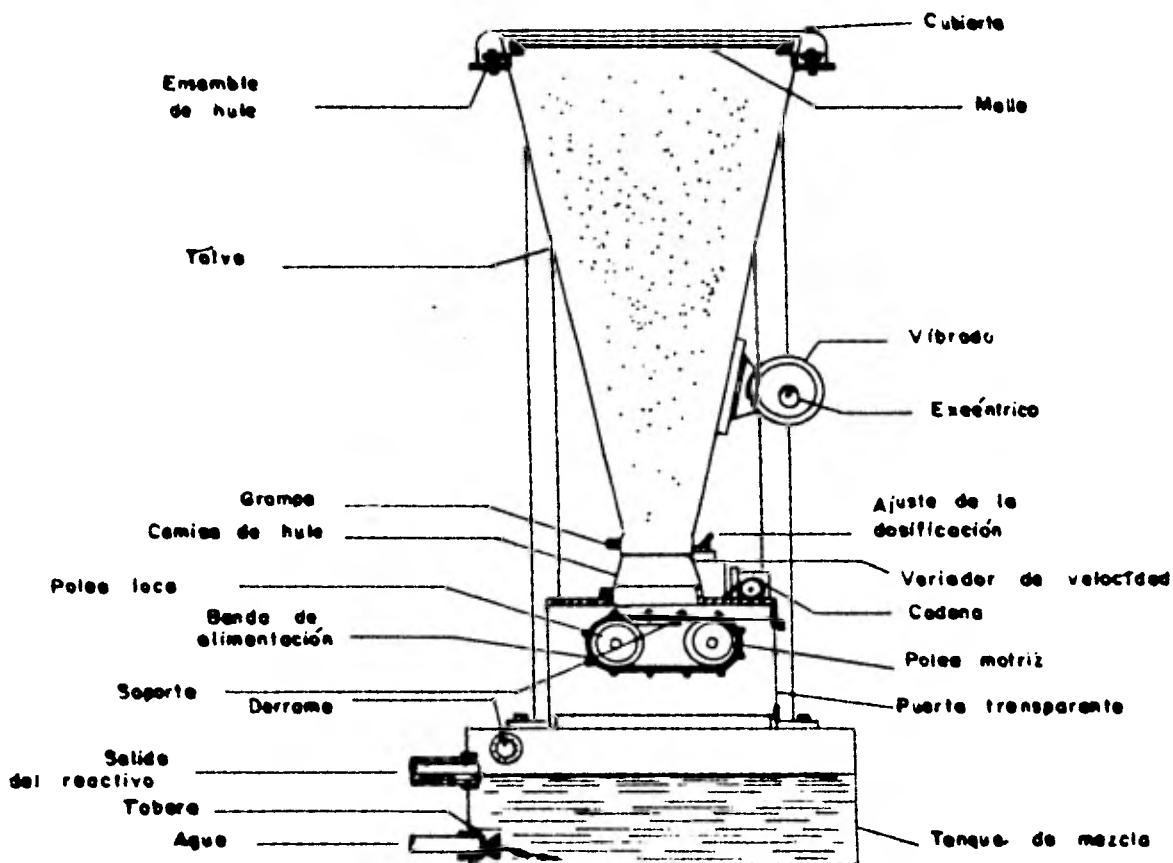


Fig. No. 3.- Dosificador
en seco.

Agitador
Evacuador de polvo

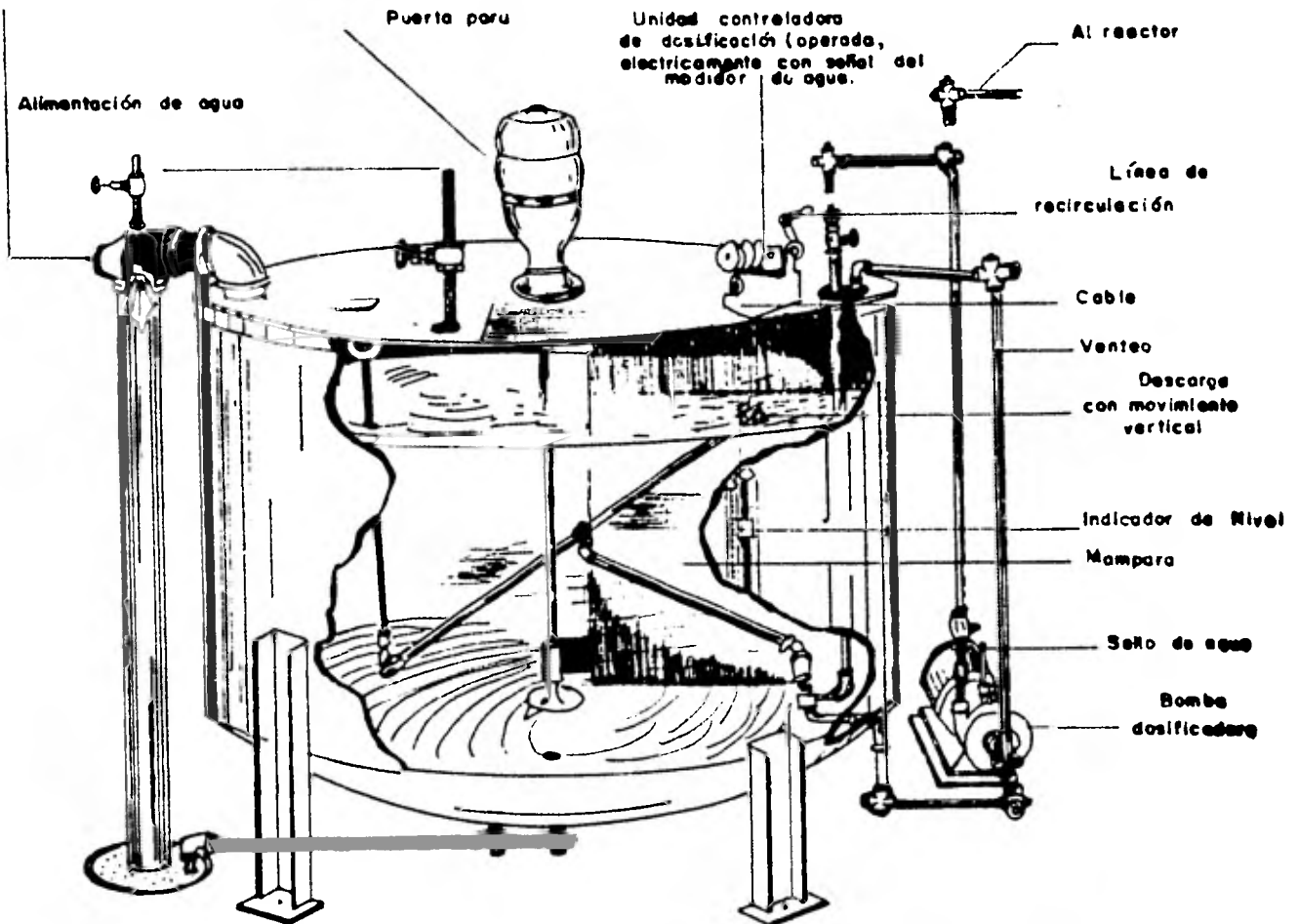


Fig. No. 4.- Dosificador en húmedo.

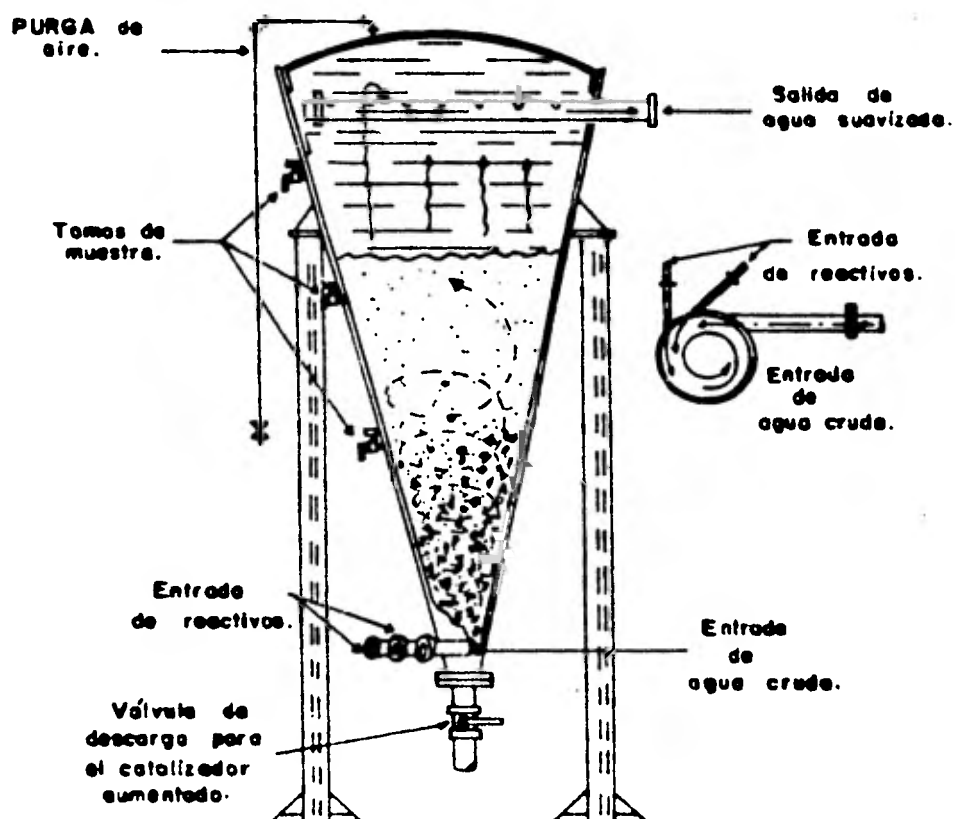


Fig. No. 5.- Corte de un Spiractor.

5.D.1.2. PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO.

1.- Los lodos de reacción que se forman constituyen un problema, - pues es necesario llevarlos a zonas apartadas donde no ocasionen - molestias. Generalmente se bombean a depósitos de asentamiento -- donde se evapora o expulsa el agua y una vez semi-sedos se transpor- tan a los lugares donde van a tirarse.

2.- Es necesario efectuar paradas periódicas para efectuar limpie- za del tanque, el cual se va azolvando con las impurezas de los -- reactivos.

3.- Se requiere un cuidadoso control en la dosificación de reacti- vos y en los resultados, para evitar que los efluentes no sean de las características deseadas. La vigilancia de la operación debe ser constante.

4.- Deben programarse revisiones periódicas para reponer las pie-- zas de desgaste como son chumaceras, baleros, engranes de los moto- -reductores, bandas, etc.

5.- Se debe vigilar la lubricación adecuada de las partes móviles.

6.- Deben revisarse periódicamente los aparatos de control como -- son: Medidores, relojes programadores de purgas, válvulas, siste-- mas de dosificación, etc.

5.D.2. PRECIPITADORES DE CAL EN CALIENTE.

5.D.2.1. EQUIPO.

El proceso se efectúa en tanques cerrados de forma cilíndrica, verticales y con fondo cónico. Operan a una presión de 0.35 a 0.7 Kg/cm². Ver Figura # 6.

El agua cruda entra por la parte superior después de pasar - por un medidor y por un cambiador de calor que sirve para precalen- tarla y para condensar el vapor de escape del interior del tanque. Posteriormente pasa el agua a un sistema de espreas, donde es pul- verizada sobre una atmósfera de vapor en la que se calienta y se - desgasifica. Los gases eliminados que son el Oxígeno y el bióxido de carbono, se expulsan por la línea de vapor de escape previa con- densación del vapor en el cambiador de calor que precalienta el - agua cruda. El agua se calienta hasta cerca de los 105°C.

En la parte superior se adicionan las sustancias químicas - que se mezclan con el agua, donde comienza la reacción de precipita- ción. El agua se conduce por medio de un tubo central en forma de embudo, al fondo del tanque donde se depositan los precipitados, - que aumentan el colchón de lodos en el fondo cónico por donde atra- viesa el agua con lo que se consigue un íntimo contacto entre éstos y el agua y los reactivos. El resultado es una mejor clarifica- - ción y una mayor eficiencia. El agua asciende por el exterior del embudo y sale del tanque ya tratada y clarificada, pasándose a tra- vés de filtros de antracita para alimentar suavizadores de zeolita evaporadores o directamente calderas.

Los lodos se purgan mediante una válvula instalada en el vér- tice del cono donde se acumulan. El nivel de lodos se controla -- mediante válvulas instaladas a distintas alturas del cono.

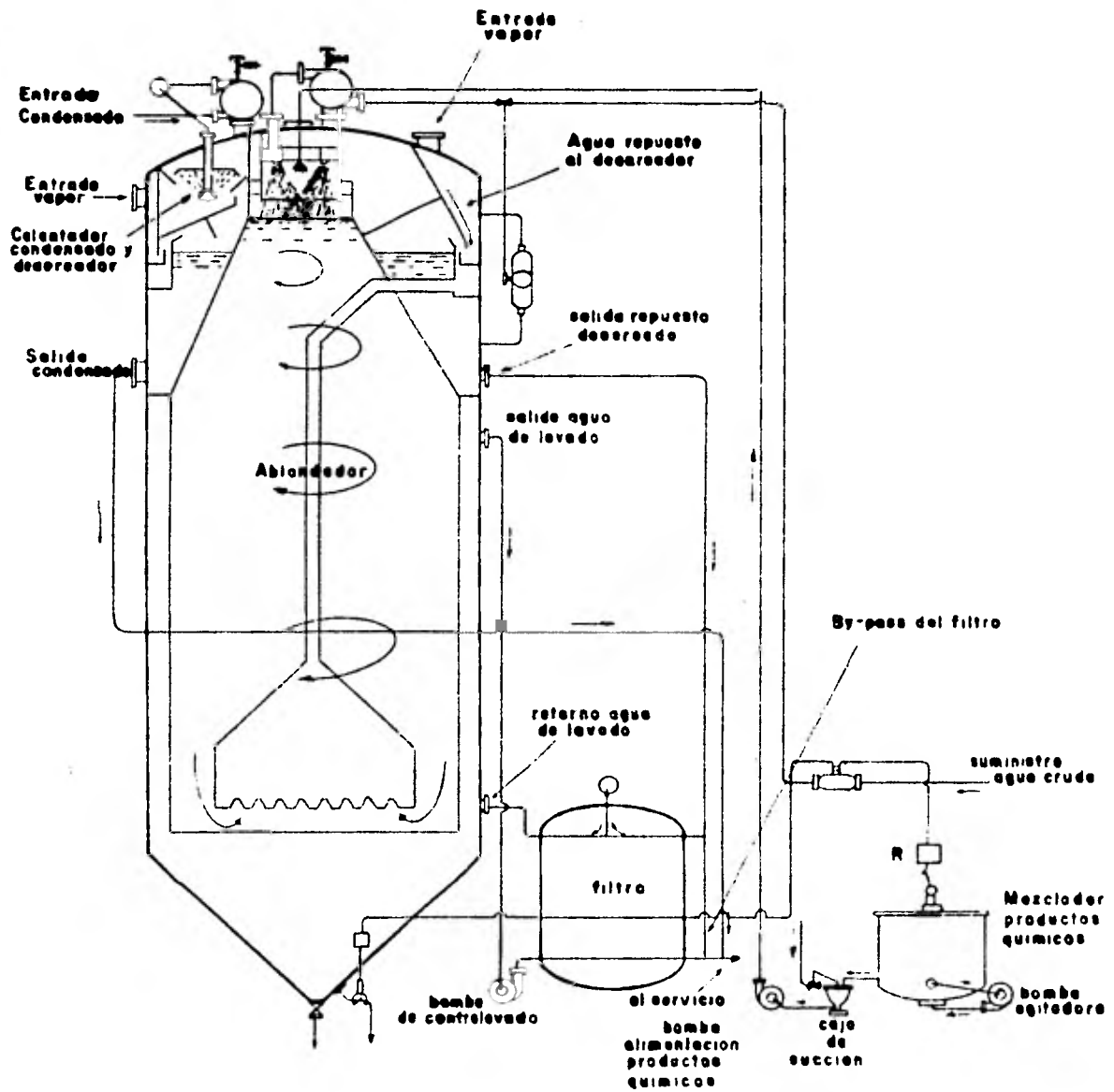


Fig. No. 6.- Suavizador cal-
carbonato en --
caliente.

La dosificación de los reactivos se hace adicionándolos todos a un tanque donde se mantienen en suspensión por medio de agitación continua y se inyectan mediante una bomba al tanque de reacción. La dosificación puede hacerse en forma automática y proporcional al flujo del agua, mediante un medidor de agua cruda que al paso de un número determinado de litros manda un impulso a un reloj programador (Timer) el cual hace operar el motor de la bomba dosificadora durante cierto tiempo, o bien hace operar un mecanismo decantador. Este mecanismo tiene un tambor en el que está enrollada una cinta de acero que sostiene el tubo decantador que es por donde se vacía el tanque. Al trabajar el mecanismo decantador, desenrolla parte del cable y hace bajar el tubo una distancia determinada.

El nivel en el tanque de reactivos desciende hasta la nueva posición del tubo decantador y la suspensión de cal se transporta de este tubo a la succión de una bomba centrífuga al tanque de reacción. La cantidad de cal inyectada es proporcional al agua cruda alimentada. Para el ajuste de la dosificación puede cambiarse la concentración de los reactivos, variar el tiempo del reloj o bien la velocidad de la bomba dosificadora.

5.D.2.2. PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO.

1.- Frecuentemente se incrusta la línea de alimentación de Cal, por lo que es necesario efectuar limpiezas periódicas a la tubería para poder efectuar dosificaciones correctas.

2.- El tanque de dosificación debe limpiarse periódicamente para eliminar la materia insoluble e impurezas de los reactivos que se depositan en el fondo.

3.- Los precipitados de Carbonato de Calcio y de Hidróxido de magnesio que son arrastrados con el agua tratada, se eliminan en los filtros de Antracita los que deben lavarse periódicamente, sin embargo, el material filtrante se va recubriendo de lodos que en un momento dado no es posible eliminarlos por lavados y dejan pasar materia precipitada. Se hace necesario sacar la antracita de los filtros para efectuar una limpieza mecánica, o bien reemplazar el medio filtrante.

4.- Se requiere un control cuidadoso en la temperatura de reacción. Cuando está baja por insuficiente entrada de vapor, las reacciones son incompletas obteniéndose mayores valores de Sílice, Dureza y Alcalinidades.

5.- Debe efectuarse una inspección periódica de los mecanismos de dosificación bombas dosificadoras, motores, medidores de agua y -- vigilar una lubricación adecuada de las partes que lo requieren.

5.D.3. PLANTAS SUAVIZADORAS DE ZEOLITA.

5.D.3.1. EQUIPO.

Los suavizadores, aunque hay algunos que trabajan por gravedad, la mayoría de ellos operan a presión y consisten de un cilindro de acero con cabezas abombadas de un espesor suficiente para soportar una presión hasta de 7 Kgs./cm². El diámetro del cilindro varía desde 28 cms. hasta 3 mts. con alturas en la parte recta hasta de 2.45 mts. Otras unidades trabajan en forma horizontal y sus diámetros pueden ser hasta de 3 mts., con largo hasta de 7.6 mts. Las unidades horizontales tienen muy poca aplicación.

En el fondo del tanque se encuentra un sistema de distribución que sirve para coleccionar el agua suavizada durante la operación normal, o bien para distribuir el agua de lavado o para expulsar el agua de enjuagado. En las unidades pequeñas este colector es un tramo de tubo con ranuras transversales, en las unidades de tamaño mediano es una placa deflectora que tiene una pequeña separación del fondo del tanque. En los tamaños mayores consiste de un cabezal y varios tubos laterales distribuidores y con perforaciones para efectuar la distribución del agua en todo el diámetro del tanque.

Cubriendo el distribuidor inferior se colocan unas capas de grava o de antracita, estando la capa más gruesa en el fondo, y la más fina en la parte superior.

El objeto de estas capas es el de soportar la cama de zeolita y evitar que se fugue ésta por los distribuidores inferiores, además de que ayuda a la distribución del agua durante el retro-lavado. Los tamaños de la grava y antracita quedan comprendidos desde 38 mm. hasta 3 mm.

Encima de las capas de grava se colocan el lecho de zeolita - cuya altura varía desde 61 cms. hasta 2.70 mts.

Por encima de la cama de zeolita queda un espacio libre, -- que sirve para que la zeolita se expanda durante el retrolavado ag parándose todas las partículas. De esta manera se expulsan las -- materias extras que se acumularon sobre el lecho. El espacio li-- bre varía desde un 33% hasta un 75% con respecto a la altura del - lecho de zeolita.

En la parte más alta del cilindro se encuentra el colector -- superior que consiste de una entrada de cople con un deflector por donde entra el agua y se desvía lateralmente durante la suaviza-- ción y enjuagado, para coleccionar el agua de lavado y llevarla por -- una tubería al drenaje. Este deflector es necesario principalmen-- te para evitar que la corriente de agua de entrada a la unidad, se dirija directamente hacia la cama de zeolita y forme un canal por donde pueda fluir más fácilmente entorpeciendo la función de inter cambio de iones.

Cerca de la superficie de la zeolita está el distribuidor de salmuera que sirve para introducir y distribuir uniformemente la solución diluida de sal sobre el lecho de zeolita con objeto de - que toda la cama quede en contacto con la solución regenerante. En las unidades de menor tamaño la salmuera entra por el colector superior.

En la parte superior, el tanque tiene instalado un grifo pa-- ra purgar periódicamente el aire que trae el agua y que queda a-- trapado en el espacio libre. En la Figura # 7, se muestra un - - Equipo Suavizador.

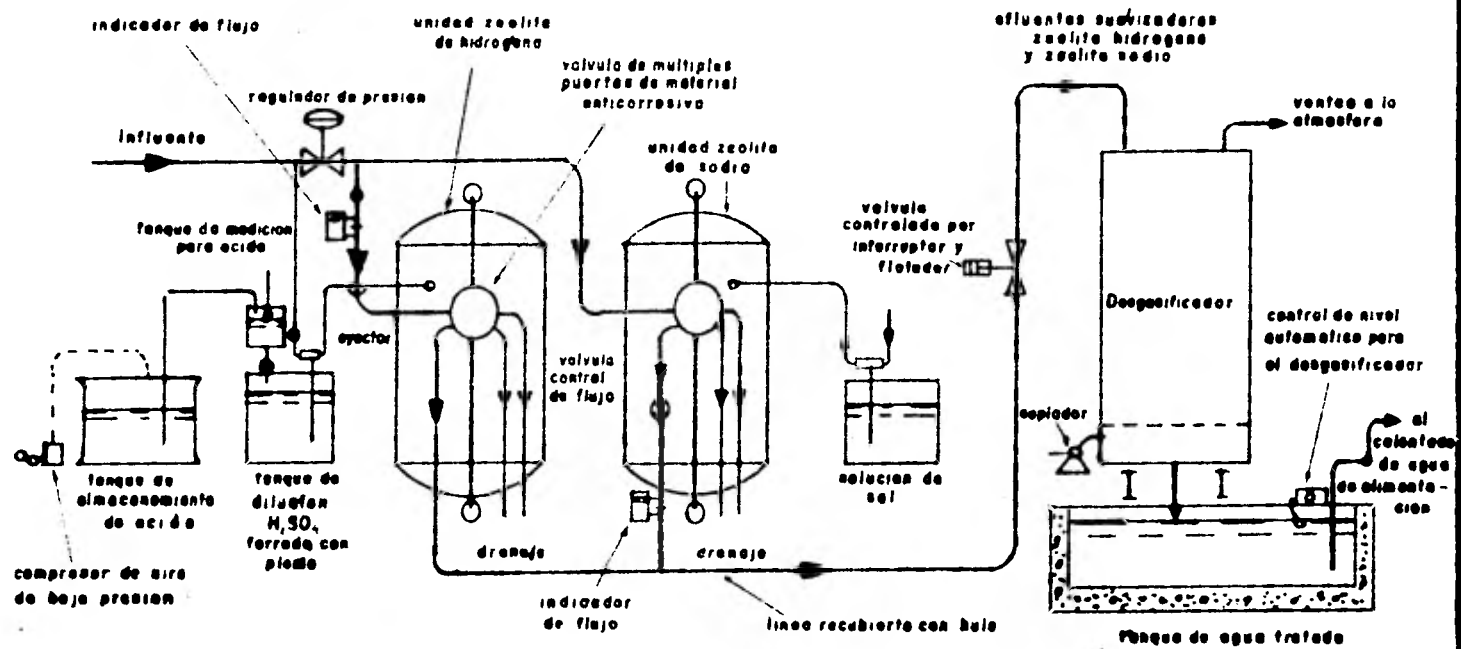


Fig. No. 7.-Suavizadores en paralelo de zeolita de H₂ control de PH.

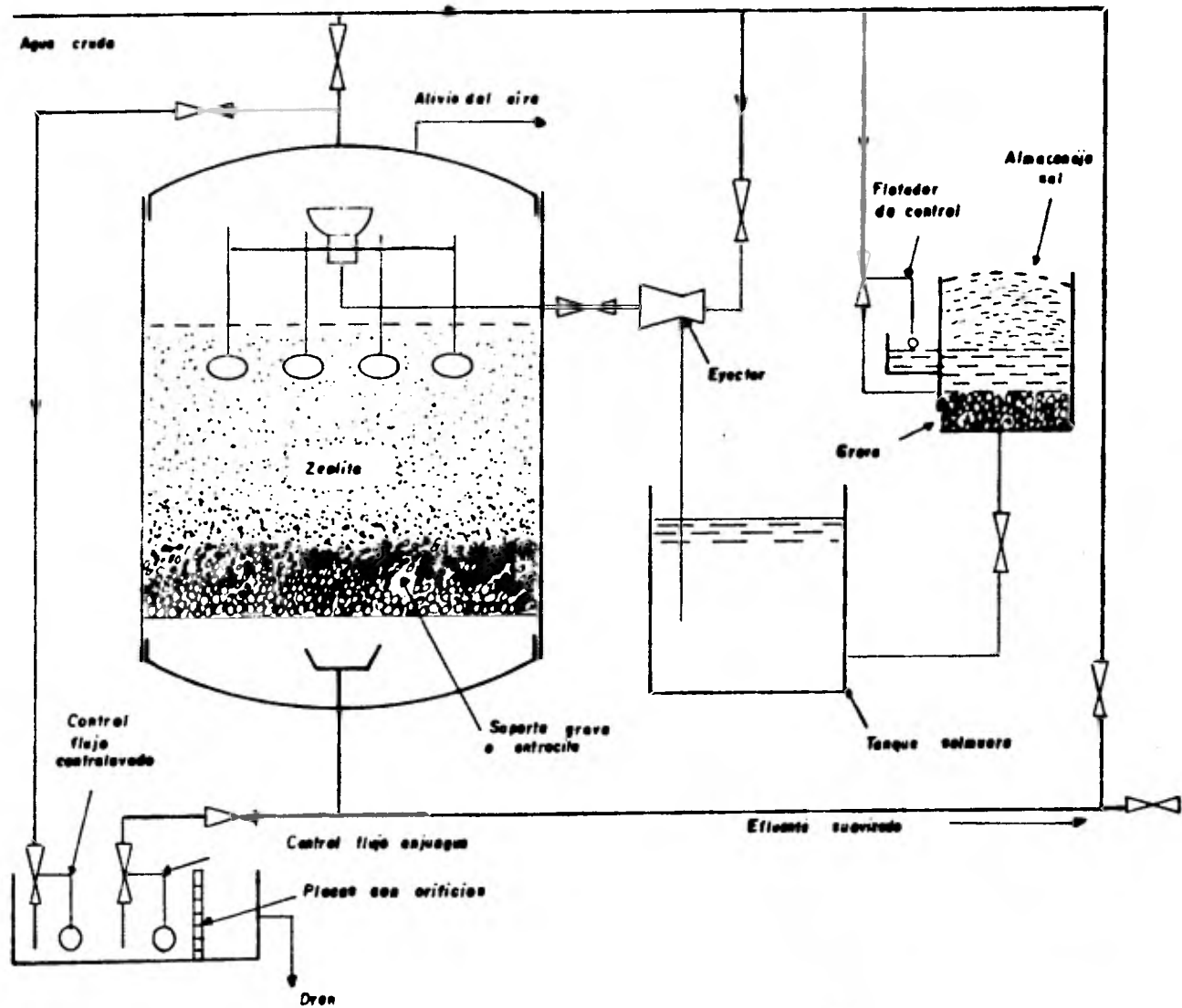


Fig. No. 7-A.- Tanque
 de zeolita.

En la parte inferior del cuerpo, el tanque lleva un registro para la introducción y nivelación de las capas de grava. En la tapa del tanque puede estar otro registro o simplemente un cople de tamaño adecuado, para la carga de resina.

Como equipo auxiliar del tanque suavizador se tiene un tanque donde se efectúa la disolución de la sal. Este tanque tiene un colector inferior, después lleva una capa de grava que sirve de soporte a la sal. El fondo del tanque es plano y no tiene tapa. Se introduce agua para que la sal se disuelva hasta obtener una salmuera saturada. El interior del tanque se recubre con una pintura con objeto de proteger y evitar el ataque corrosivo de la sal al fierro. La inyección de la salmuera saturada al suavizador se efectúa mediante un eyector, donde se diluye a una solución al 10% y así se introduce para regenerar.

Algunos diseños tienen 2 tanques, uno de almacenamiento de sal donde se forma la salmuera saturada y otro para medición de la salmuera.

Para conocer la cantidad de agua que pasa por el suavizador se instalan medidores de agua, bien en la línea de entrada o en la de salida.

La entrada y salida de agua, se puede llevar a cabo mediante tubería y un juego de válvulas de compuerta instalados al frente del suavizador, o bien mediante una válvula de varios pasos de las que hay de varios tipos. El agua de entrada, de lavado, de enjuagado y el regenerante, se hacen pasar a través de esta válvula múltiple de donde se desvían hacia el suavizador, drenaje, salida, etc.

Existen también controles para la medición del agua de lavado y de enjuagado.

5.D.3.2. ZEOLITAS.

Existen varios tipos de zeolitas que varían desde las naturales que son Silice-Aluminatos de Sodio y ciertas arenas (green-sand) hasta las sintéticas como el 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 capacidad de zeolitas varía desde 106 kilogramos de dureza por metro cúbico para las naturales, hasta 1060 kg/m³ para las resinas poliestirénicas. Esta última resina es la que actualmente se emplea casi en la totalidad de los suavizadores. La capacidad de 1060 kg/m³ equivale a suavizar 19,500 Lts. de agua con una dureza de 100 partes por millón, por cada m³ de resina. La cantidad de regenerante es de 4.5 a 6.8 Kgs. de sal para cada m³ de resina. Con mayor cantidad de regenerante se obtiene mayor capacidad de la resina.

5.D.3.3. PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO.

El principal problema de estos equipos es la contaminación de las resinas.

Cuando el agua por suavizarse trae consigo turbidez y lodos, éstos van recubriendo los granos de resina y su capacidad va decreciendo gradualmente.

Si el agua procede de un precipitador de cal en frío, puede recubrirse la resina con Carbonato de Calcio o con Hidróxido de Aluminio, procedente del coagulante, debido a que el agua se - - -

encuentra saturada con estos compuesto y al pasar por la zeolita se depositan. También puede recubrirse la zeolita con lodos de Carbonato de Calcio, cuando el agua procede de un precipitador de cal en caliente, por una mala filtración.

Para restaurar la capacidad de las zeolitas en los casos anteriores, es necesario efectuarles lavados con soluciones diluidas de Acido Clorhídrico que redisuelven las materias depositadas. Una doble regeneración con sal, convierte la zeolita a la combinación Zeolita de Sodio. Algunas zeolitas no resisten la acción del ácido.

Las válvulas múltiples pueden ocasionar contaminaciones del agua suavizada por paso a través de ellas de agua cruda a la corriente de agua suavizada. Esta falla se origina por rayaduras con arena de los discos fijos que son de material blando, por rotura de los empaques de hule o por mal asiento de los discos móviles. Es necesario reemplazar éstas piezas o en ocasiones cambiar totalmente la válvula, para eliminar la contaminación.

Los medidores de agua también presentan fallas por deterioro de los discos, desgaste de los engranes o atascamiento con arena. Cuando esto sucede pueden cambiarse fácilmente las piezas que han fallado, o limpiar el lodo o arena que obstruya el movimiento del disco o rotor.

Debe revisarse periódicamente la protección interior del tanque de Salmuera para prevenir cualquier ataque corrosivo de la sal al metal.

5.D.4.- PLANTAS DESMINERALIZADORAS.**5.D.4.1.- EQUIPO.**

El equipo usado en la desmineralización del agua consiste normalmente de:

- 1) Unidad Catiónica.
- 2) Desgasificador.
- 3) Unidad Aniónica.

Tanques de las Unidades.- Los tanques para recibir las resinas catiónicas y las aniónicas están constituidos de un cilindro vertical de acero con tapas abombadas, cubiertos interiormente con una capa de hule duro de 3 a 4.5 mm de espesor. Los hay también recubiertos de material plástico como el Cloruro de Polivinilo (P.V.C.), de vidrio, o de algunas resinas especiales que se curan a alta temperatura, después de aplicadas. Este recubrimiento 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 interior son de hule duro, de fierro recubierto de hule o plástico, de plástico (P.V.C.) o de aceros inoxidable.

Cubriendo al 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. Algunos diseños modernos ya no tienen la cama soporte de antracita y para evitar el arrastre de resina, a los distribuidores inferiores se les pone una camisa de malla fina de tela de plástico o de acero inoxidable.

Encima de la antracita se coloca la cama de resina cuya altu-

ra varía desde 61 cms. hasta 2.70 mts.

El espacio libre en las Unidades es de 33% a 75% del lecho de resina en la Unidad Catiónica, y de un 100% en la Unidad Aniónica. 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., o de fierro recubierto de hule. En la tapa del tanque existe un registro para la introducción de la antracita y la resina y también una conexión para instalar una válvula de -- purga de aire.

Las válvulas de diafragma pueden substituirse por una válvula múltiple recubierta de hule, para realizar las operaciones de re-- trolavado, enjuagado y operación normal.

El equipo de regeneración de la Unidad Catiónica cuando la re-- generación se hace con ácido sulfúrico consiste generalmente de 2 tanques, uno de lámina de acero y sin protección, cerrado, que sirve para medir el volumen de ácido concentrado necesario de cada re-- generación. 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 concen-- tración del 2 al 4% por efecto de la dilución que se efectúa en el eyector.

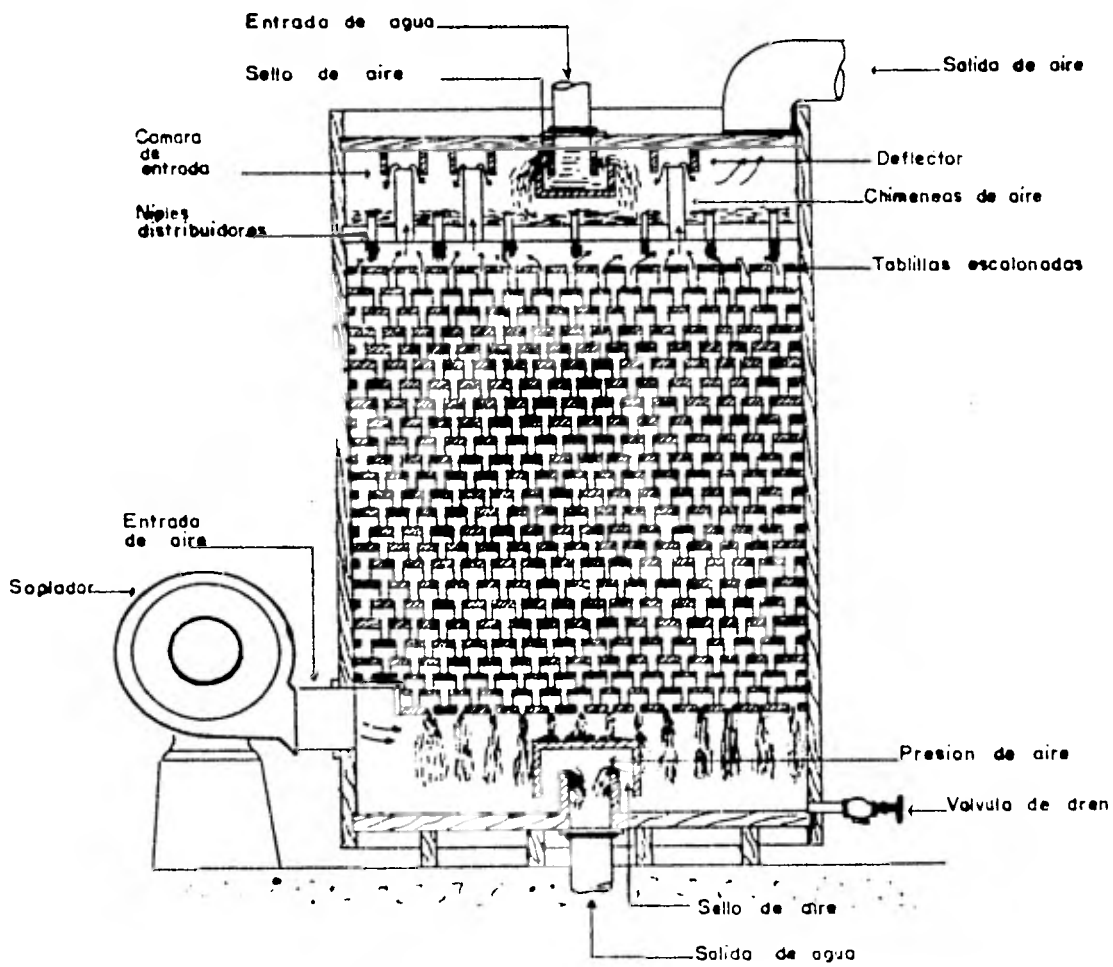
El ácido concentrado se introduce al tanque de medición por la acción de otro eyector cuya succión está conectada a la parte superior del tanque y efectúa un vacío parcial, succionándose el ácido mediante una manguera que conectada al tanque llega hasta el garrafón en que se encuentra el ácido.

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. El tanque está 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°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%. Algunos diseños introducen el regenerante con bomba centrífuga y en este caso se requiere tener la solución de sosa ya al 4% de concentración.

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.

Desgasificador.— El desgasificador consiste de una torre construida de madera o de lámina de acero con recubrimiento interior de hule. La altura del desgasificador varía desde 2.40 mts. (8') hasta 6 mts. (20'), con diámetro desde 76 cms. hasta 6 mts.

El interior de la torre lleva unas tirillas de madera sobrepuestas, o bien está rellena de pequeños tubos de cerámica llamados anillos de Raschig. En la Figura # 8, se muestra el corte de un desgasificador.



**Fig. No. 8.- 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 desciende a través de las tirillas de madera en forma de cascada. El agua 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 agreada 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 contra corriente con el flujo de agua.

La parte superior de la torre tiene varios tubos en forma de chimeneas con mamparas por donde descarga el aire y el CO_2 eliminado 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.

Medidores.- Para conocer el flujo de agua que pasa por las Unidades, se instalan medidores de agua a la entrada de la Unidad Catiónica y a la salida de la Unidad Aniónica.

Resinas.- Las resinas catiónicas pueden ser del tipo de Carbón Sulfonado con capacidades de 8 kilogramos por pie³ o del tipo de resina poliestirénica sulfonada con capacidades hasta de 20 kilogramos por pie³. La regeneración se hace con 2.5 a 15 libras (5 a 6 como normal) de ácido sulfúrico o clorhídrico por pie³ de resina, (40 a 240 Kg/m³) de resina (80 a 95 como normal).

Estas resinas son las mismas que se emplean en los suavizadores de zeolita regenerada con sal.

Las resinas aniónicas son también compuestos orgánicos derivados del poliestireno y divinil-benceno combinados con una amina.

Cierto tipo de estas resinas tienen la propiedad de retener únicamente los ácidos fuertes (sulfúrico, clorhídrico y nítrico). A estas resinas se les denomina débilmente básicas.

Las hay que además de los ácidos fuertes, retienen en su molécula los ácidos débiles como el Carbónico y el Silícico. Estas resinas se llaman fuertemente básicas.

Dentro de las 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 pie³. Las del tipo II tienen mayor capacidad; entre 12 y 17 kilogramos por pie³, son más eficientes, pero más susceptibles al ataque y su capacidad disminuye más pronto.

Actualmente se prefiere la resina tipo I por su mayor estabilidad.

5.D.4.2.- REGENERACION DE LA UNIDAD CATIONICA.

Cuando el agua que pasa por la unidad catiónica ya no intercambia totalmente los cationes por los iones Hidrógeno, la acidez del efluente (Acidez Mineral Libre) empieza a disminuir. Cuando la Acidez Mineral Libre disminuye en un 10% de la que tiene durante toda la corrida, se hace necesario regenerar la unidad ya que el agua producida no reúne las características de pureza necesaria.

Antes de proceder a regenerar la unidad, se efectúa un retrolavado a la resina, con agua cruda, a un flujo de 163-245 lt/m² de área de la unidad.

El retrolavado tiene por objeto eliminar las impurezas que se han acumulado en la resina y eliminar las canalizaciones que pudie

ron formarse, lo que se consigue con la expansión y reacondo de la resina.

El ácido de regeneración se prepara primero midiendo la cantidad de ácido en el tanque de ácido concentrado por la acción succionante del eyector.

En el tanque de ácido diluído se agrega el agua necesaria para obtener un ácido al 20% de concentración. Sobre el agua y con la línea de aire de agitación abierta, se agrega el ácido concentrado.

Por medio del eyector se succiona el ácido diluído y se introduce a la unidad generalmente a una concentración del 2 al 4%. La cantidad de ácido sulfúrico es alrededor de 80 Kg/m³ de resina.

Una vez agregado el ácido se enjuaga la unidad con agua cruda hasta que la Acidez Mineral Libre tenga un 10% arriba del valor esperado durante la corrida. En este momento se suspende el enjuagado y se pasa la unidad al servicio.

5.D.4.3.- REGENERACION DE LA UNIDAD ANIONICA.

Cuando la capacidad de la Unidad Aniónica se agota, se procede también a regenerar la resina para restaurarle su poder de absorción de ácidos. El término de la corrida se controla por un aumento en la concentración de Sílice en las resinas Fuertemente Básicas o un aumento en la conductividad para las resinas Débilmente Básicas.

El retrolavado de la Unidad se efectúa con agua efluente de la unidad catiónica o bien con agua suavizada, a un flujo de 122 lt/m² de área.

En el tanque de regeneración se prepara la solución de sosa -

cáustica, donde se agrega la cantidad de agua necesaria y posteriormente la sosa cáustica en escamas o sosa líquida al 50%. La concentración de la sosa en este tanque se diluye aproximadamente al 20%. El regenerante se introduce a la unidad aniónica por medio de un eyector donde se diluye a una concentración del 4%.

Después de agregada la sosa cáustica, se enjuaga la unidad -- con agua efluente de la unidad catiónica hasta que la sílice y la conductividad bajan a su nivel normal. Después del enjuagado se -- pasa la unidad al servicio.

5.D.4.4.- PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO.

El principal problema en la operación de los desmineralizadores es la contaminación de las resinas, que se refleja en una pérdida de la capacidad parcial o total.

Las resinas catiónicas pueden contaminarse con la materia orgánica del agua disminuyendo su capacidad, así como con los cationes fierro, manganeso y aluminio en estado trivalente, que se absorben por la resina y no se eliminan fácilmente durante la regeneración.

El cloro residual ataca a las resinas de tipo de carbón sulfonado oxidándola. La concentración de Cloro máxima que debe llegar a la resina es de 0.1 p.p.m.

Una resina catiónica oxidada ya no puede recuperar su poder -- de Intercambio. Cuando está contaminada con materia orgánica se -- le dá un tratamiento de desinfección a base de lavados con soluciones de sosa cáustica al 5% conteniendo 1% de Sulfito de Sodio. Las resinas poliestirénicas pueden lavarse con soluciones diluídas de Hipoclorito de sodio.

Cuando la resina está recubierta de Sulfato de Calcio por formación de depósitos durante la regeneración, se hacen lavados con soluciones diluidas de Acido Clorhídrico.

Las resinas Aniónicas pueden sufrir descomposiciones de su estructura molecular y contaminaciones.

La descomposición puede ser motivada por oxidación con el Cloro libre del agua, o por el Oxígeno y por regenerarlas a temperaturas superiores al límite de operación (40 ó 50°C). Se aconseja -- eliminar estos factores para prevenir los ataques. El cloro libre debe tener como máximo una concentración de 0.1 p.p.m.

La contaminación de las resinas pueden ocasionarla, la materia orgánica, el fierro y la sílice.

La eliminación de estos contaminantes se lleva a cabo por diversos procedimientos.

La materia orgánica se elimina con tratamientos de desinfección con soluciones de cloruro de sodio en caliente. El agua de alimentación a la desmineralizadora debe tratarse con objeto de -- que el contenido de materia orgánica no sea superior a 5 p.p.m. para prevenir al máximo esta contaminación. Con el adelanto de las resinas porosas la materia orgánica se elimina más fácilmente durante las regeneraciones.

El fierro puede llegar a la resina por ataque ácido de alguna tubería desnuda y puede eliminarse por medio de lavados con soluciones de ácido clorhídrico.

La sílice que se atrapa en los granos de resina por regeneración insuficiente y que contamina el efluente gradualmente por hidrólisis, puede eliminarse empleando mayor cantidad de sosa en la regeneración y en caliente.

Es conveniente tener siempre una carga de resinas de repuesto para cambiarla de inmediato en caso de descomposición o contaminación, o reponer los faltantes en caso de pérdidas por fugas durante los lavados.

Los diafragmas de las válvulas deben reemplazarse cuando presenten fugas.

Deben tenerse en existencia algunas partes de los medidores, para cambiarlas cuando sea necesario.

Cuando el forro de hule de los tanques o de alguna tubería se desprenda o rompa, debe arreglarse de inmediato para prevenir la corrosión del metal y la contaminación de las resinas por fierro.

Cuando la operación es automática deben tenerse repuestos de diafragma de válvulas, conexiones para aire y válvulas solenoide.

5.D.5. DESALCALINIZADORES.

Son unidades de intercambio de iones que además de eliminar la dureza reducen también la alcalinidad

En aplicaciones como en agua de respueto a los evaporadores la alcalinidad del agua es un inconveniente, debido a que el aumentar las concentraciones la alcalinidad aumenta proporcionalmente. El agua demasiado alcalina al hervir, tiene tendencia a la formación de espuma y provoca arrastres de sólidos con el vapor y la consiguiente contaminación.

El agua al pasar por la Unidad Catiónica cambia las sales de calcio y magnesio por sales de sodio. Inmediatamente pasa a la Unidad Aniónica, donde todos los aniones se transforman a cloruros, resultando un efluente conteniendo una concentración de Cloruro de Sodio equivalente a los sólidos totales disueltos del agua cruda.

Ambas resinas pueden estar mezcladas en una sola unidad.

La alcalinidad puede también disminuirse y controlarse con 2 unidades catiónicas operando una en el ciclo de sodio y la otra en el ciclo de Hidrógeno. Los efluentes de ambas unidades se mezclan en proporción tal, que los ácidos del efluente de la Unidad de Hidrógeno neutralicen la alcalinidad del agua que sale de la Unidad de Sodio hasta el valor requerido. Posteriormente se hace pasar la mezcla de aguas a través de un desgasificador donde se elimina el CO_2 .

5.D.6. EVAPORADORES.

La evaporación es el sistema más empleado actualmente para producir agua de buena calidad como repuesto para calderas. El sistema consiste en producir agua destilada mediante el calentamiento con vapor de extracción de la turbina. Para una buena operación es necesario que el agua que alimenta a los evaporadores esté libre de dureza con objeto de evitar incrustaciones, la alcalinidad y sólidos totales se encuentren en concentración moderada para evitar los arrastres que contaminan el vapor producido, y para reducir al mínimo las purgas que son causa de pérdida de calorías.

En algunos casos se trata internamente el agua del evaporador con fosfatos que eliminan la dureza residual del agua producida por los suavizadores y con sustancias antiespumantes y dispersantes de lodos.

Algunos evaporadores toman el agua con cierto grado de dureza y las incrustaciones se eliminan periódicamente drenando en forma rápida la unidad, admitiendo vapor a los tubos hasta que se seque la incrustación y se calienten adicionando en seguida agua fría sobre los tubos calientes. La contracción de la tubería ocasiona el desprendimiento de las incrustaciones. Sin embargo este sistema sólo es recomendable en los evaporadores especialmente diseñados para este objeto y tiene la desventaja de que se pierde tiempo de producción de agua evaporada.

Los evaporadores consisten de un cuerpo cilíndrico de acero, horizontal o vertical, con cabezas abombadas, con conexiones para entrada de agua de alimentación, salida de vapor producido por el evaporador, entrada de vapor de calentamiento y salida para condensado y purgas.

Los distintos tipos de evaporadores son los siguientes:

- 1.- De Serpentina.
- 2.- De tubos doblados.
- 3.- De tubos sumergidos.
- 4.- De tubos curvos.
- 5.- De tubos horizontales con casquetes separadores de vapor.

5.D.7.- DEAERACION.

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 disuelta.

Es absolutamente indispensable la disminución de la concentración de estos gases hasta 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 o desaeradores y que son equipos que se encuentran en toda instalación Termoeléctrica de Vapor.

Los tipos de deaeradores se dividen en:

5.D.7.1.- CALENTADORES ABIERTOS.

Los calentadores de este tipo, reducen el oxígeno disuelto del agua hasta 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.

5.D.7.2.- 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 de CO_2 y demás gases disueltos en el agua de alimentación. La mayor eficiencia de estos deaeradores se consigue al adaptarles suficiente área de deaeración y tiempo de contacto.

Existen los diseños de charolas (Tray-Type) y de aspersion (Spray-Type).

5.D.7.3.- CONDENSADORES DEAERADORES.

En muchas Plantas la eliminación de gases no condensables se efectúa en el pozo caliente del condensador principal. Este tipo de deaeración es muy conveniente cuando el repuesto es bajo y donde existe además deaeración química.

En este sistema 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.

Fig. No. 8-A.- Se muestra un deaerador tipo charola.

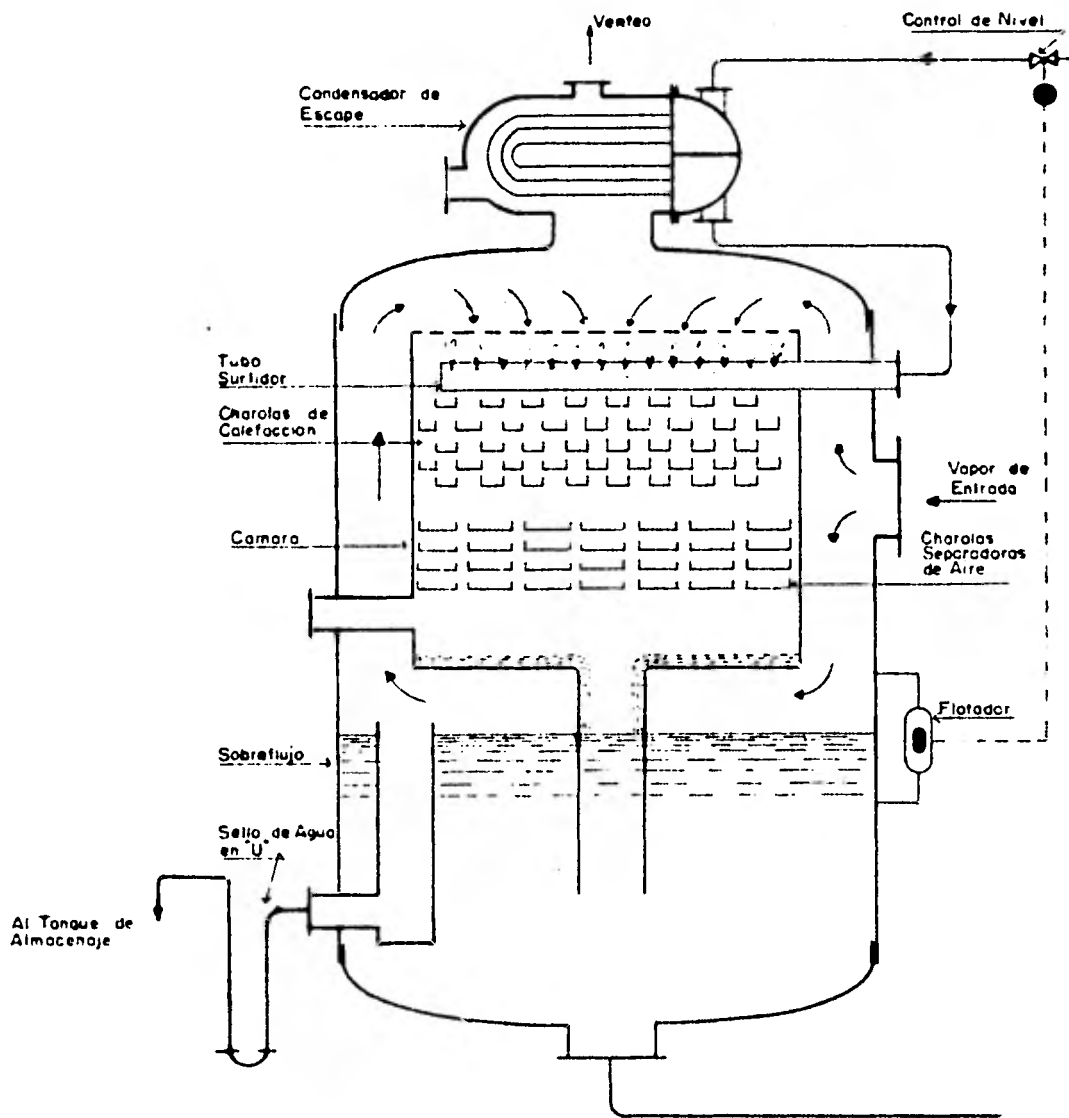


Fig. No. 8-A.- Deaerador tipo charola.

5.B.- CONTROL Y ANALISIS DEL AGUA DE LA CALDERA.-

El control en el tratamiento interno se lleva mediante análisis frecuentes del agua de la caldera con objeto de vigilar que se mantengan dentro de los límites de concentración recomendados, las sustancias dosificadas así como los compuestos que pueden -- ocasionar incrustaciones, corrosiones y arrastres.

Las determinaciones que normalmente se afectan en el agua de la caldera son:

5.B.1.- ALCALINIDADES A LA FENOLFTALEINA Y AL ANARANJADO DE METILO

Para evitar la corrosión y la tendencia del agua a causar la fragilización cáustica, en calderas de menos de 45 Kg/cm²., se -- mantienen los valores de F. y M en valores que varían de 60 a 80 p.p.m. para F, y de 150 a 350 p.p.m. para M. Se procura que toda la alcalinidad sea debida a alcalinidad de Carbonatos con límites de alcalinidad de Hidróxidos de 3 a 35 p.p.m. Se limita este valor de los OH como ya se dijo, para prevenir la Fragilización -- Cáustica. El agua alcalina también mantiene la sílice en solución. El control de alcalinidades se regula mediante un ajuste -- en el régimen de purgas. Para aumentar la alcalinidad de Hidróxidos se dosifica Sosa Cáustica o Fosfatos alcalinos. No se recomienda el uso de Carbonato de Sodio por introducir al sistema el Bióxido de Carbono corrosivo.

Las alcalinidades elevadas aumentan la tendencia a la formación de espuma.

5.B.2.- pH.

Mediante el control de la alcalinidad en el agua de la caldera se obtienen valores de pH entre 10.5 y 11.6 que es donde ocurre la menor disolución del acero. Cuando el pH es menor o mayor que estos valores pueden ocurrir fenómenos de corrosión.

En calderas de alta presión se recomiendan en ocasiones valores de pH entre 8 y 9 con bajas concentraciones de fosfatos, para reducir al mínimo los arrastres de sólidos en el vapor.

5.E.3.- SILICE.

El agua de repuesto a las calderas, bien evaporada o desmineralizada, lleva aún disueltas cantidades pequeñas de sílice que — varían desde 0.01 hasta 1 p.p.m. Por efecto de la concentración del agua en la caldera, la sílice también se concentra, ocasionando incrustaciones muy duras y de alta resistencia a la transmisión de calor. La sílice forma incrustaciones de silicato de Calcio al combinarse con este elemento. Con el Aluminio proveniente de los coagulantes solubilizados que llegan hasta la caldera, la sílice se combina formando incrustaciones de Sílice-Aluminio (analcita).

En la operación de calderas de alta presión la concentración de Sílice es más crítica, en vista de que además de las incrustaciones formadas, a las temperaturas de operación la sílice se volatiliza y es arrastrada con el vapor, depositándose en los álabes de las turbinas al enfriarse el vapor por la expansión.

Las asociaciones de fabricantes de calderas establecen límites para la concentración de Sílice de acuerdo con las presiones de operación. Estos límites aparecen más adelante.

La manera de mantener los valores de Sílice por debajo de los límites es disminuyendo su concentración en el agua de alimentación y regulando las purgas de la caldera. En la mayoría de los casos la Sílice es el factor determinante del régimen de purgas.

5.E.4.- SÓLIDOS TOTALES.

Los sólidos en suspensión y los disueltos en el agua de la

caldera, deben mantenerse por debajo de ciertos límites de acuerdo con la presión, para prevenir la tendencia a la formación de espuma y los arrastres de sólidos con el vapor. Las tolerancias varían de 200 a 3500 p.p.m. de sólidos totales, de acuerdo con la presión de la caldera.

5.3.5.- FOSFATOS, SULFITOS, HIDRAZINA.

Mediante el análisis de estos compuestos se conoce su concentración en el agua de la caldera, determinando los cambios en la dosificación con objeto de mantener los valores dentro de los límites. Como ya se indicó la Hidrazina se inyecta cuando no se emplea el Sulfito de Sodio.

5.F.- CONCENTRACIONES PERMISIBLES.-

La Asociación Americana de fabricantes de Calderas (A.B.M. A.), con el objeto de garantizar la pureza del vapor, estipula - los límites de la tabla siguiente en la concentración de Sólidos Totales, Sólidos en Suspensión y Alcalinidad; aunque para cada caso particular, deben de establecerse los valores límites que la - práctica haya sancionado y que eviten los problemas mencionados - con anterioridad.

(Ver Tabla # 1)

Para el acondicionamiento químico de calderas de alta presión, se han desarrollado cuatro tratamientos específicos denominados:

- 1.- Control de Precisión.
- 2.- Método de Alcalinidad Cautiva ó Control Coordinado Fosfatos-pH
- 3.- Fosfatos bajos o Método Congruente.
- 4.- Agua Pura.

Concentraciones permitidas de:

| | CONTROL DE PRECISION | CONTROL COORDINADO FOSFATO-pH | CONTROL - CONGRUENTE. | AGUA PURA |
|---------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------|
| NaOH en p.p.m. | 15-50 | 0 | 0 | 0 |
| PO ₄ en p.p.m. | 2-4 | 15-50 | 2-4 | 0 |
| Sólidos Totales | 50-100 | 100-200 | 6-10 | 1-2 |
| pH | 10.5-11.0 | 10.0-10.6 | 8.5-9.3 | 8.9-9.1 |

CONTROL DE PRECISION.

Consiste en mantener bajas concentraciones de sílice y fosfatos, para reducir los arrastres de sílice a la turbina y evitar los depósitos de fosfato de magnesio en las superficies de la caldera.

| Kg/cm ² | PRESION | Lbs/plg ² | SOLIDOS EN SUSPENSION | SOLIDOS TOTALES | ALCALINIDAD |
|--------------------|---------|----------------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| | | | p.p.m. | p.p.m. | Total p.p.m. |
| 0-21.1 | | 0-300 | 300 | 3500 | 700 |
| 21.1-31.7 | | 301-450 | 250 | 3000 | 600 |
| 31.8-42.2 | | 451-600 | 150 | 2500 | 500 |
| 42.3-52.8 | | 601-750 | 100 | 2000 | 400 |
| 52.9-63.4 | | 751-900 | 60 | 1500 | 300 |
| 63.5-70.4 | | 901-1000 | 40 | 1250 | 250 |
| 70.5-105.6 | | 1001-1500 | 20 | 1000 | 200 |
| 105.7-140-8 | | 1501-2000 | 10 | 750 | 150 |
| 140-9 ó mayor | | 2001-ó mayor | 5 | 500 | 100 |

La concentración de Sílice se recomienda mantenerla por debajo de los siguientes valores límites para evitar incrustaciones en tubos y álabes de las turbinas.

| Kg/cm ² | PRESION | Lbs/pulg ² | SILICE MAX. p.p.m. |
|--------------------|---------|-----------------------|--------------------|
| | | | SiO ₂ |
| 17.6-42.2 | | 250-600 | 40-50 |
| 42.3-63.4 | | 601-900 | 20-30 |
| 63.5-84.5 | | 901-1200 | 10-20 |
| 84.5 | | 1200 | 5-10 |
| 126.8 | | 1800 | 1 |

Los Laboratorios Hall especialistas en tratamiento de agua de los Estados Unidos recomiendan los siguientes valores para aguas de calderas.

| Kg/cm ² | PRESION | ALCALINIDAD | | POSPATOS | SULFITOS | SILICE | SOLIDOS EN | SOLIDOS |
|--------------------|-----------------------|-------------|----|------------------------|------------------------|----------------------|------------|------------|
| | Lbs/pulg ² | p.p.m. | OH | p.p.m. PO ₄ | p.p.m. SO ₃ | ppm SiO ₂ | SUSPENSION | DISUELTOS. |
| 3.52 | 50 | 35 | | 30-50 | 30-60 | 185 | 1400 | 3400 |
| 21.1 | 300 | 30 | | 30-50 | 30-60 | 125 | 640 | 2800 |
| 42.2 | 600 | 25 | | 30-50 | 30-60 | 50 | 290 | 2000 |
| 63.4 | 900 | 15 | | 5-10 | 5-10 | 26 | 136 | 1250 |
| 84.5 | 1200 | 3 | | 3 | | 7 | 5 ó menos | 600 |
| 126.8 | 1800 | 3 | | 3 | | 1.8 | | 200 |

Tabla # 1.- Límites en las concentraciones de Sólidos Totales, en Suspensión y Alcalinidad.

El magnesio que entra a la caldera se combina con el fosfato para formar un compuesto pegajoso de Hidroxi-fosfato de Magnesio. Con concentraciones bajas de fosfatos, el magnesio se combina casi exclusivamente con la sílice, para formar un lodo menos adherente de silicato de magnesio, llamado serpentina. Por esta razón es necesario disminuir la concentración de fosfato al mantener en la caldera concentraciones más baja la sílice, para evitar la formación del hidroxifosfato de magnesio.

Este control requiere la presencia de cierta cantidad de -- hidróxido libre, para mantener fluidos los lodos que llegaran a formarse. Sin embargo se ha visto que a medida que las presiones de operación se han incrementado, aumentando consecuentemente las temperaturas del metal, se ha encontrado que la alcalinidad de -- hidróxidos ha sido perjudicial, pues acelera la corrosión debajo de los depósitos de productos de corrosión particularmente en las superficies calientes, causando lo que se llama "ataque Cáustico" caracterizado por picadura y acanaladuras. Este fenómeno se ha presentado con mayor frecuencia en calderas que operan a presiones superiores a los 98 kg/cm^2 .

CONTROL COORDINADO FOSFATOS -pH.

Consiste en mantener el pH del agua de la caldera debajo de una curva que tiene como coordenadas los fosfatos y el pH de soluciones de diferentes concentraciones de fosfato trisódico. Se supone que al no existir causticidad libre no puede ocurrir el ataque cáustico.

Sin embargo para mantener un pH entre 10.0 y 10.6 se requiere mantener un fosfato residual de 15 a 50 p.p.m. Estas concentraciones en calderas de más de 140 Kg/cm^2 . pueden causar arrastres a la turbina disminuyendo su eficiencia.

Una modificación a este método emplea residuales de fosfato de 10 p.p.m.

CONTROL CONGRUENTE.

En algunos casos no es suficiente mantenerse abajo de la curva Fosfatos pH del control coordinado para evitar la corrosión porque en condiciones en las que se producen concentraciones localizadas, se puede producir hidróxido de sodio a partir de soluciones de fosfato de sodio; en cambio se ha encontrado que la relación congruente de sodio a fosfato (Na/PO_4) es entre 2.65 y 2.85. Con base a esta relación se ha construido una curva representando una relación de Sodio a Fosfato inferior a 3.0, en substitución de la de fosfato trisódico. Se recomienda que la relación que deberá tomarse es la de 2.6 para las calderas de alta presión.

Los fosfatos mantenidos son entre 2-4 p.p.m. y pH entre 8.5 y 9.3. Esta relación se logra mediante la adición apropiada de ácido fosfórico, fosfatos monosódico, fosfato disódico, fosfato trisódico, hidróxido de sodio, o mezclas de los mismos.

AGUA PURA.

El método del "Agua Pura" o también llamado de "Cero sólidos" no mantiene prácticamente sustancias químicas o cuando menos sustancias químicas disueltas en el agua de las calderas. No excluye por completo el uso de sustancias químicas sino que su empleo está dirigido a mantener pura el agua de la caldera.

Este método ha tenido aceptación últimamente en las calderas modernas, las que por ser de muy elevadas presiones de operación toleran menos la presencia de sólidos en el agua. Sin embargo, este método deja de ser adecuado cuando existe la posibilidad de que inadvertidamente se introduzcan en el sistema contaminante tales como sílice, fierro, cobre y dureza.

5.G.-. DOSIFICACION DE ACIDO A TORRES DE ENFRIAMIENTO.

5.G.1.-. EQUIPO.

El ácido sulfúrico se adiciona al agua de repuesto por medio de una bomba dosificadora de un material resistente al ácido sulfúrico concentrado.

La bomba puede ser del tipo de pistón con válvulas de bola en la cabeza de succión y descarga. El material de construcción puede ser de acero con balas y asientos de acero inoxidable y pistón de Hastelloy o de Cerámica.

También pueden ser las bombas del tipo de diafragma hecho de materiales especiales como el Pentón, Teflón o Hipalon. El cuerpo de la bomba que está en contacto con el ácido puede ser de acero inoxidable o de plásticos especiales resistentes al ácido sulfúrico concentrado. Los impulsos del diafragma ejercen la suc-ción y descarga del ácido a través de las válvulas.

El movimiento de la bomba se hace por medio de un motor eléctrico acoplado a un reductor de velocidad, que se conecta a la --biela y ésta transmite el movimiento al émbolo de la bomba o al -pistón que está conectado con el diafragma.

La dosificación del ácido se hace automáticamente y en forma proporcional al flujo de agua de repuesto. El sistema consiste - de un medidor de agua instalado en la línea de agua de repuesto. Este medidor puede ser del tipo de orificio, del tipo de disco o de turbina e intercalado directamente en la línea y tienen por objecto totalizar el agua que pasa a través de la tubería. Al paso

de un determinado número de litros el medidor envía una señal - - eléctrica a un reloj programador (Timer) y éste hace actuar un relevador que cierra el circuito eléctrico del motor de la bomba dosificadora.

Cada vez que el medidor envía su señal, trabajará la bomba - durante un tiempo determinado por la posición del reloj (Timer).

Las variaciones para ajustar la dosificación se pueden lle-- var a efecto aumentando o disminuyendo la carrera de la bomba o - variando el tiempo de trabajo de la misma mediante la posición de el programador. Es importante que la colocación del programador no sea nunca mayor que el intervalo entre contactos al flujo máxi- mo puesto que esto ocasiona que se envíe la señal eléctrica antes de que deje de operar la bomba, resultando un trabajo continuo de la bomba pero no proporcional al flujo de agua.

Es conveniente que la colocación del reloj programador sea - de tal modo, que la bomba opere lo más continuo posible pero dejan- do un tiempo muerto entre el término de tiempo fijado por el pro- gramador y la nueva señal del medidor.

El ácido se envía de la bomba por una tubería paralela a la línea de agua de repuesto y se descarga en la salida de esta agua por medio de un difusor terminal de material resistente al ácido- concentrado y diluido.

También puede enviarse el ácido de la bomba, a una cámara de dilución forrada interiormente de hule o de plomo, la cual está - conectada a una derivación de la línea principal. Esta deriva- ción se toma antes de un orificio instalado en la línea de agua. El ácido diluido pasa a la línea principal por una tubería que se

conecta después del orificio; adelante se encuentra una cámara de mezcla instalada también en la línea principal, en donde por medio de mamparas el ácido se diluye aún más con el flujo principal de agua. En la Figura # 9, se muestra el diagrama de Dosificación.

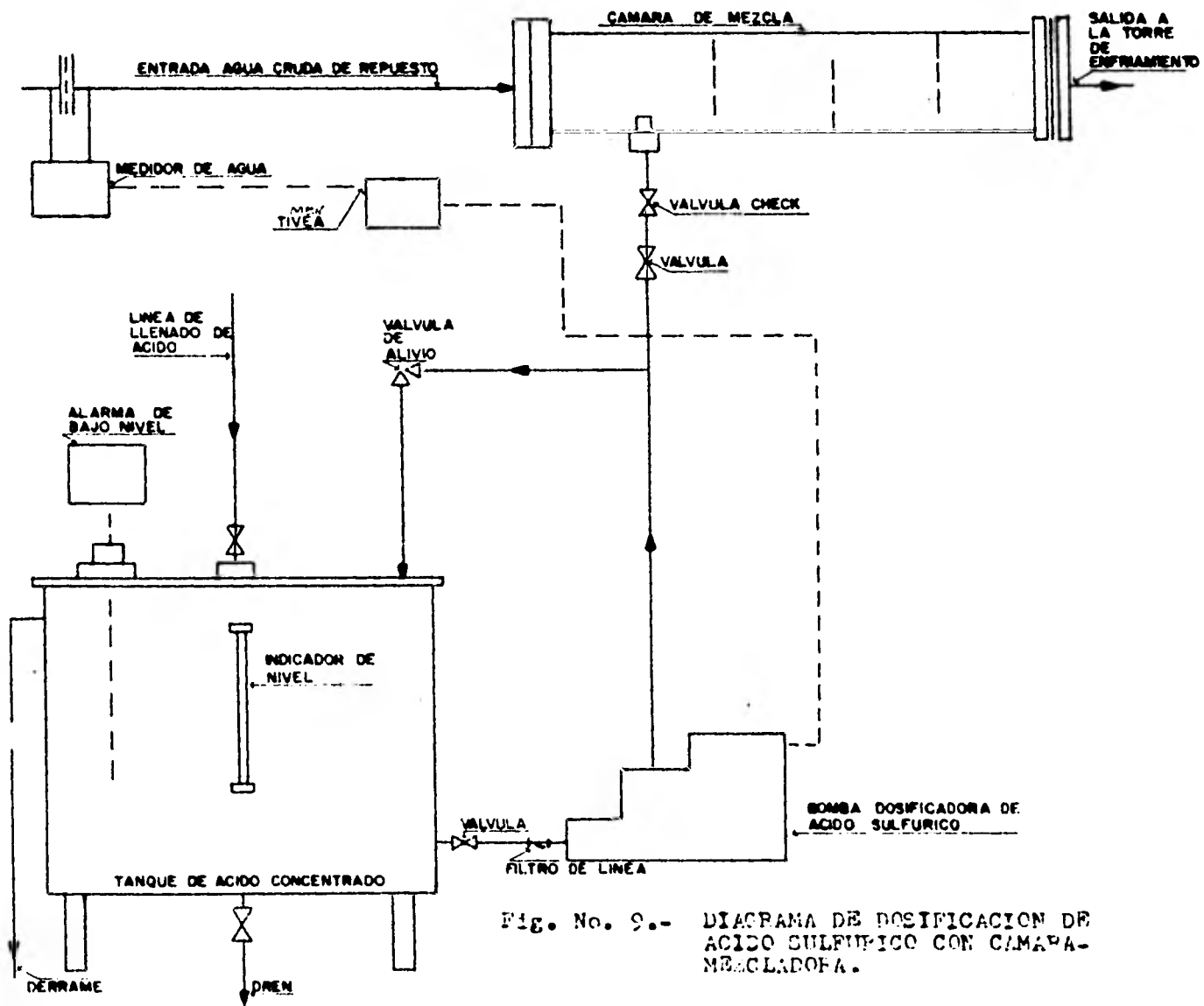


Fig. No. 9.- DIAGRAMA DE DOSIFICACION DE ACIDO SULFURICO CON CAMARA-MEZCLADORA.

5.H.-.- CLORACION.**5.H.1.-.- EQUIPO.**

La aplicación de las soluciones de cloro al agua se lleva a cabo mediante aparatos dosificadores denominados cloradores. El cloro de los tanques de almacenamiento se conecta a un cabezal de donde se envía al clorador. En esta línea puede instalarse una válvula reductora de presión y en ocasiones calentadores o evaporadores de cloro.

El aparato consiste de una válvula reguladora de presión por donde pasa el cloro a un Rotámetro donde se mide la dosificación generalmente en Kgs. o Lbs. por 24 Hrs., inmediatamente pasa a un dosificador del tipo de orificio variable y de allí a un eyector, previo paso a través de una válvula reguladora del vacío.

El eyector operado con agua a presión succiona el cloro y efectúa la solución del mismo. Esta solución se envía por tubería de P.V.C. o de fierro recubierto de hule, al punto de aplicación. El aparato tiene una válvula de alivio para presión y vacío, y todo el conjunto se encuentra montado en gabinete.

En ocasiones principalmente cuando las dosificaciones son pequeñas, se substituye el cloro por substancias que lo contienen, como el Hipoclorito de Calcio y el de Sodio. Estos compuestos son de fácil manejo y se inyectan en soluciones al 1 ó 2% con bombas dosificadoras del tipo de diafragma. También se emplean substancias como las cloraminas y los clorofenatos, estos últimos también como fungicidas. En las Figuras Nos. 10 y 11, se muestran los diagramas de flujo del equipo de cloración.

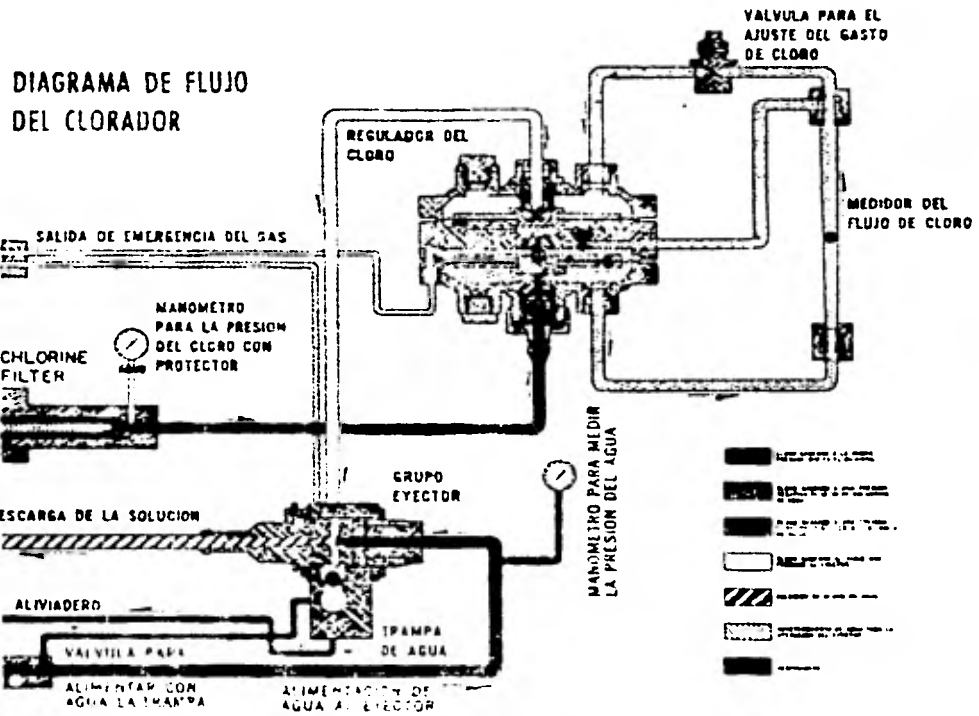


Fig. No. 10.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL CLORADOR.

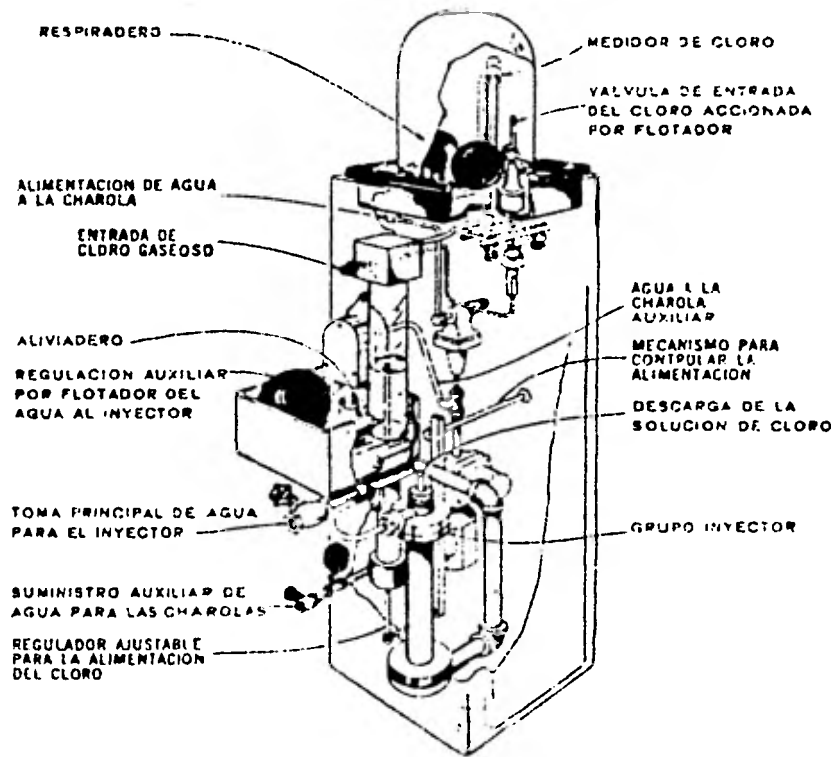


Fig. No. 11 .- DIAGRAMA DE FLUJO DEL CLORADOR (W & T)

5.I.- TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS :

5.I.1. GENERALIDADES.

Se denominan aguas negras a las aguas de desecho -- que se envían al drenaje en una ciudad o población. Esta agua lleva las excreciones líquidas y sólidas del cuerpo humano, los desechos domésticos y el agua de desecho de las Industrias. En época de lluvias se suman a las aguas negras las aguas pluviales que se colectan en las atarjeas y llevan consigo tierra, arena y materias extrañas que arrastran las corrientes formadas.

La mayor parte de las materias orgánicas que llevan estas aguas son en extremo putrefactas y contienen un gran número de bacterias muchas de ellas productoras de enfermedades humanas. Al descomponerse los desechos orgánicos originan malos olores y -- gases venenosos.

Los desechos industriales pueden contener ácidos o álcalis y pueden llevar sustancias químicas tóxicas o venenosas.

Al descargarse las aguas negras a otra masa mayor -- de agua, por ejemplo un río, lago o el mar, el agua se contamina -- y puede ser peligrosa para la vida de los peces y una amenaza para la salud pública.

En muchos países, los Gobiernos decretan el tratar convenientemente las aguas de desecho industriales obligando a las industrias a entregar aguas de desecho libres de sustancias tóxicas. Construyen plantas de tratamiento para eliminar las materias orgánicas sólidas putrefactas de las aguas domésticas y produciendo aguas claras, sin bacterias patógenas que ya no constituyen un peligro para la vida humana.

En nuestro país aún no se han emitido leyes para este propósito; sin embargo, en las grandes ciudades como México, - Monterrey, etc., se han instalado plantas para tratar las aguas de desperdicio de la ciudad y aprovecharlas para fines de riego, para usos en Industrias, y para enfriamiento de equipo y de condensadores en Plantas Termoeléctricas.

5.I.2. EQUIPO.

La Planta de Tratamiento de aguas negras empleada - para estos propósitos es del tipo de "Lodos Activados" y consiste en 3 etapas.

1.- Tratamiento primario, consistente de eliminación de sólidos de tamaño grande, desmenuzador y sedimentación primaria.

2.- Tratamiento secundario o Proceso de Lodos Activados consistente de Aereación y Sedimentación Final.

3.- Digestión de Lodos y Secado.

5.I.3. TRATAMIENTO PRIMARIO.-

El agua tal como llega a la planta es de color grisáceo; cuando es fresca y negro cuando es séptica y contiene materiales en suspensión y flotantes, tales como heces fecales, papel y desperdicios de verduras, frutas, carnes, pedazos de tela, etc.

Después de pasar el agua por una criba de barras, en donde se separan los objetos flotantes de gran tamaño, pasa el agua al desmenuzador, que consiste en un tambor rotatorio con cubillas que pasan a través de unas guías estacionarias donde es desmenuzada la materia gruesa. Esta, una vez desmenuzada penetra con el agua al interior del tambor a través de ranuras angostas y de aquí se conduce por un canal desarenador, el que se hace de dimensiones apropiadas para reducir la velocidad del agua y facilitar el depósito de arena y materiales pesados. La velocidad en este canal es de 0.30 mts/seg. De aquí se conduce el agua al tanque de sedimentación primaria.

El Tanque de Sedimentación Primaria se construye de concreto y puede ser circular o rectangular. La velocidad del agua es lo suficientemente baja para permitir que se asienten los sólidos pesados y los lodos primarios. Generalmente se requiere un período de retención de 1 a 2 horas.

El tanque circular es de fondo cónico y descubierto en la parte superior. El agua entra por el centro y fondo del tanque. Por medio de dos rastras una en el fondo y la otra en la superficie, movidas desde el centro del tanque por motor eléctrico con reductor de velocidad, se van enviando al centro del tanque los lodos asentados en el fondo y se recogen grasas y natas de la superficie. Los lodos se bombean al digestor.

En el tanque rectangular, el agua pasa a través de unas mamparas y fluye a todo lo largo del tanque.

Los lodos sedimentados se envían por medio de rastras a unas tolvas colocadas en la parte anterior del tanque y de aquí se bombean al digestor.

En el tanque de sedimentación primaria se queda alrededor de un 30 a 40% de la materia orgánica del agua. El resto sale con el efluente primario.

Los lodos primarios constituyen del 0.5 al 2% del flujo total de la Planta de aguas negras. Es una masa espesa de olor desagradable.

5.1.4.- TRATAMIENTO SECUNDARIO.-

El efluente del tanque de sedimentación primaria contiene las impurezas solubles tales como desechos humanos líquidos, agua de lavados de ropa y utensilios domésticos, etc. y sólidos muy finos que no se eliminaron en la sedimentación primaria.

Esta agua pasa por un canal de concreto a los tanques de aereación.- En este canal descargan los lodos activados donde se mezclan.

Si se colecta una muestra de agua aereada, en una probeta, se observan flóculos finos de color café que se van asentando lentamente, dejando agua clara. Estos flóculos contienen millones de bacterias y otras formas de micro-organismos y es lo que constituyen los lodos activados.

Las bacterias y demás organismos son de tipo aerobio que necesitan oxígeno libre para reproducirse, por lo que es necesario un suministro de fuertes volúmenes de aire a los tanques de aereación por medio de sopladores.

El proceso de lodos activos consiste en mezclar los lodos activados con el efluente primario. Se aerea el agua por varias horas en los tanques de aereación y después se separan los lodos por asentamiento en los tanques de sedimentación secundaria. Las impurezas del efluente primario son absorbidas sobre la superficie de los flóculos donde se alimentan los micro-organismos aerobios. Al final de la aereación el licor mezclado fluye de los tanques de aereación a los de sedimentación secundaria, que son tanques de concreto cilíndrico o rectangular de tamaño semejante al tanque de sedimentación primaria. En estos tanques de sedimentación se asientan los lodos en el fondo de donde se bombean continuamente y se regresan para mezclarse con el efluente primario y el excedente a los tanques de sedimentación primaria. Los tanques de sedimentación circular tienen rastras en el fondo que conducen los lodos al centro de donde son bombeados.

El agua clarificada se derrama por vertedores a un canal periférico de donde se conduce por un canal común, a un cárcazo de bombeo para enviarla a tanques de almacenamiento o a su utilización. En este canal común se aplica cloro para destruir los organismos patógenos.

5.1.5.- DIGESTION DE LODOS.-

Los lodos del tanque de sedimentación primaria con los excedentes de los lodos activados, se bombean diariamente a un tanque digestor, cerrado, donde la materia orgánica es digerida por la acción de bacterias anaerobias y la transforman en compuestos más estables. El período de digestión es de 30 a 60 días.

Por la acción de esta digestión de la materia orgánica se obtiene un gas que contiene metano 60 a 70% y dióxido de carbono. Este gas se emplea como combustible.

La digestión se acelera calentando los lodos con serpentines de agua caliente a 90°C. El pH de los lodos debe ser neutro. Si baja de 6.4 se agrega cal para neutralizar la acidez y evitar formación de espuma.

En el digestor los materiales se encuentran en 2 capas, la superior o licor sobrenadante y la capa de fondo o de lodos. Cuando el digestor está lleno se expulsa el licor sobrenadante al dar cabida a nueva cantidad de lodos. Este licor sobrenadante se regresa nuevamente al proceso de lodos activados.

Los lodos acumulados en el fondo del digestor que deben tener apariencia granulosa y olor a tierra se envían a las camas de lodos con fondo de arena, donde secados son. La altura de las camas no debe ser mayor de 25 cms. para facilitar el secado y deben limpiarse una vez que estos lodos estén secos. El nuevo lodo húmedo no debe aplicarse sobre un lodo parcialmente seco.

Los lodos del digestor tampoco deben eliminarse totalmente ya que son necesarios para continuar el proceso de digestión con los organismos anaerobios.

5.1.6. CONTROL.-

Las pruebas analíticas que deben efectuarse en una - planta de aguas negras son:

- 1.- Oxígeno disuelto.
- 2.- Sólidos en Suspensión.
- 3.- Prueba de asentamiento de lodos.
- 4.- Índice de Volúmen de Lodos.
- 5.- Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- 6.- pH.
- 7.- Demanda de Oxígeno del licor Mezclado.
- 8.- Estabilidad relativa.

1.- El Oxígeno disuelto se determina en el licor mezclado y en el efluente final. El Oxígeno es necesario para la vida de los micro-organismos aerobios.

2.- Los lodos en suspensión se determinan por filtración de la muestra y pesando el residuo.

3.- La prueba de asentamiento da el % en volúmen de sólidos sedimentados en 30 minutos.

4.- El índice de volúmen de lodos es el volúmen ocupado por 1 gramo de sólidos en suspensión después de 30 minutos de asentamiento.

5.- La Demanda Bioquímica de Oxígeno es el oxígeno - requerido por las bacterias aerobias para estabilizar la materia - orgánica.

6.- El pH se determina con potenciómetro o colorimé-ricamente.

7.- La demanda de oxígeno del licor mezclado es un método químico para medir la utilización del oxígeno de la vida biológica en el licor mezclado, se mide en p.p.m. por hora.

8.- La estabilidad relativa es una medida de la calidad del efluente en la planta de aguas negras. Se mide en número de días que desaparece el color de una muestra a la que se adiciona azul de metileno y da una relación del oxígeno disponible presente en el efluente y la demanda total de oxígeno.

5.J.- PROBLEMAS OCASIONADOS POR FALLAS DEL TRATAMIENTO

Las fallas tenidas en el tratamiento del agua se reflejarán en una disminución de la eficiencia de los equipos, mayores gastos de mantenimiento y costosas paradas en las unidades afectadas

Los principales problemas debidos a un mal control en el tratamiento del agua son los siguientes:

- 1) Formación de incrustaciones y depósitos en las superficies de calentamiento.
- 2) Corrosión tanto en las líneas de vapor condensado como en la misma caldera.
- 3) Arrastre de impurezas en el vapor.

1º.- Formación de incrustaciones y depósitos. La principal causa de la formación de incrustaciones en calderas, economizadores, calentadores y bombas de agua de alimentación, es la disminución de la solubilidad de las sales formadoras de incrustaciones, cuando se incrementa la temperatura del agua de la caldera o de alimentación, que las contiene.

Las sales contenidas en la película de agua adyacente al metal serán las primeras en cristalizar hasta llegar a formar una incrustación de espesor considerable.

Las incrustaciones así formadas crean un problema en la operación de las calderas debido a su baja conductividad térmica como lo muestra la tabla siguiente en la cual se les compara con las conductividades encontradas en otros materiales.

| Incrustación o material | CONDUCTIVIDAD TERMICA Cal/Seg. cm ² °C |
|-------------------------------------|--|
| Analcita | 1.19×10^{-3} |
| Fosfato de calcio | 3.39×10^{-3} |
| Sulfato de calcio | 2.17×10^{-3} |
| Fosfato de magnesio | 2.03×10^{-3} |
| Oxido de hierro magnético | 2.71×10^{-3} |
| Incrustaciones de silicato (poroso) | 8.13×10^{-3} |
| Acero de la caldera | 0.04 |
| Ladrillo | 1.04×10^{-3} |
| Ladrillo aislante | 9.49×10^{-3} |

La presencia de la incrustación aislante tendrá como consecuencia una disminución en la eficiencia de la caldera y por lo tanto un mayor consumo de combustible utilizado.

El problema de las incrustaciones puede ser mucho más grave, por la necesidad de incrementar la temperatura en el horno para obtener la misma capacidad de evaporación en una caldera pues puede alcanzar una temperatura a la cual los tubos sufran abombamientos (aproximadamente 900°F) y finalmente ocurra la falla de los mismos, teniendo que parar la unidad.

Cuando se trata de caldera a alta presión con su correspondiente elevada temperatura, la situación se vuelve aún más crítica debido a la menor diferencia entre la temperatura límite del material y la temperatura normal de operación.

Las fallas en los tubos puede deberse también a su taponamiento por depósitos desprendidos, los cuales impiden la circulación del agua ocurriendo entonces el sobrecalentamiento del tubo.

Las incrustaciones pueden ser identificadas por medio de análisis químicos gravimétricos pudiendo recurrir también al método de difracción y fluorescencia de rayos X en el caso de que se trate de un material cristalino.

Las incrustaciones más comunes son las producidas por las sales de calcio y magnesio, las de Sílice y las de Óxidos de Hierro y Cobre. Con el tratamiento externo, tal como en los procesos ya descritos de cal-carbonato y suavización con zeolitas se reduce el contenido de calcio y magnesio en el agua de alimentación. Con el tratamiento interno a base de fosfatos se eliminarán las trazas de dureza remanente en la caldera, eliminando los lodos depositados de fosfato tricálcico e hidróxido de magnesio por medio de extracciones de fondo.

La precipitación del carbonato de calcio ocurrirá en ausencia de fosfatos y cuando el agua contiene cantidades apreciables de bicarbonato de calcio, por lo mismo es frecuente encontrar depósitos de carbonato de calcio en las líneas de agua de alimentación, en los economizadores y en los calentadores abiertos.

El sulfato de calcio es más soluble en agua que el bicarbonato de calcio y la presencia de ésta sal en las calderas es indicación de falta de tratamiento interno o de falta de control químico en la caldera.

El silicato de calcio es frecuentemente depositado en la caldera resultando de la combinación de los compuestos de calcio y los iones de silicato normalmente presentes en la caldera.

Es más fácil prevenir la formación de incrustaciones debidas a las sales de magnesio. El fosfato de magnesio es un precipitado pegajoso, la incrustación de silicato de magnesio es en cambio un compuesto de extremada dureza que suele formarse en las superficies de alta transferencia de calor.

Además de las incrustaciones de silicatos antes mencionados existen otras incrustaciones debidas a la sílice, particularmente las que entran en combinación con el ión aluminio, un ejemplo de este tipo de incrustaciones es la "Analcita" $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. La formación de este complejo, generalmente ocurre en calderas de alta presión, cuando no se mantienen bajos valores de sílice en el agua de la caldera a base de extracciones o por no tener un tratamiento externo adecuado para bajar la sílice, el aluminio puede llegar a la caldera por una falta de control en el equipo precipitador permitiendo gran exceso en la dosificación del coagulante de aluminio usado.

Los depósitos de Oxido de Hierro y Coore son encontrados generalmente en calderas a las que se le suministra un agua de alimentación muy pura.

Los precipitados de fierro encontrados en la caldera, son el producto de la corrosión del fierro y del acero por el agua de condensado o de alimentación.

En algunos casos, los depósitos de óxido de hierro y silicato de hierro no son solo productos de corrosión externa a la caldera, el ataque corrosivo puede ocurrir en la misma caldera por altas concentraciones de alcalinidad cáustica u oxígeno disuelto

El cobre procede de la corrosión en el condensador, impulsores de bomba, calentadores y evaporadores, cuando estos equipos se fabrican con aleaciones de cobre.

Para evitar la corrosión de las líneas de condensado por -- Bióxido de Carbono se recurre al uso de aminas férmicas, aminas neutralizantes y amoniaco.

Este último gas puede obtenerse como subproducto de la hidrazina, cuando se utiliza este compuesto en el tratamiento interno de la caldera.

El amoniaco que destila con el vapor en concentraciones elevadas como 10 p.p.m. en presencia de Oxígeno ataca al cobre y sus aleaciones rápidamente, siendo el condensador el primer equipo -- afectado.

En recientes instalaciones de Plantas Nucleares y en algunas unidades de vapor que requieren una excelente calidad en el agua de alimentación, utilizan un desmineralizador dentro del ciclo -- mismo de generación de vapor además del desmineralizador utilizado para el agua de repuesto de éste ciclo. Con la unidad pulidora de condensado podremos eliminar el fierro, el cobre, gases, -- etc.

2°.- Corrosión.- La corrosión es un problema que se presenta en las calderas, líneas de condensado, válvulas, trampas de vapor, etc.

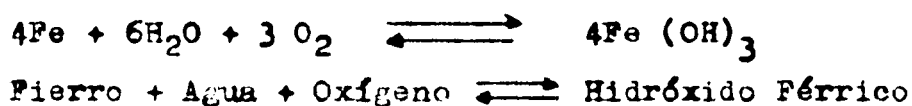
Cuando éste fenómeno se presenta, el problema no se reduce a reemplazar las piezas afectadas sino que es necesario eliminar -- los productos de la corrosión los que podrían ocasionar taponaduras en otras partes del sistema.

Las unidades en ocasiones son puestas fuera de servicio por problemas de corrosión por lo que los costos se elevan excesivamente.

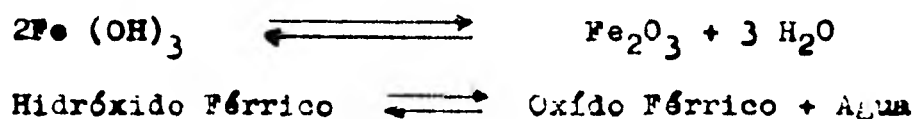
La corrosión y picado de los tubos en las calderas se debe -- casi siempre a un bajo pH generalmente ocasionado por la presencia de CO₂ disuelto en el agua de la caldera o a la presencia de oxígeno.

La corrosión en las líneas de vapor y condensado se debe -- principalmente a la acción de los gases oxígeno, y dióxido de carbono.

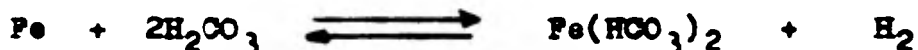
La reacción de corrosión por oxígeno disuelto puede ser ilustrada como sigue:



El Hidróxido de Fierro puede transformarse en herrumbre como sigue:



El Bióxido de Carbono disuelto en el agua forma el ácido carbónico el cual es un ácido débil que ataca al fierro de acuerdo con la siguiente ecuación:



Fierro + Acido Carbónico = Bicarbonato de Hierro + Hidrógeno.

Esta reacción se lleva a cabo rápidamente cuando el pH es más bajo de 5.9, el bicarbonato de Hierro eleva el pH cuando este llega a 5.9, la reacción se vuelve muy lenta, el hidrógeno formado también tiende a detener la reacción particularmente a pH superior a 5.9

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 Bióxido de Carbono en el vapor descomponiéndose según la reacción:



Bicarbonato Ferroso = Oxido Ferroso + Dióxido de Carbono + Agua

Cuando el oxígeno está también presente acelera la corrosión eliminando el hidrógeno del agua y el bicarbonato precipitará entonces como sigue:



Bicarbonato de Fierro + Oxígeno = Oxido Férrico + Dióxido de Carbono + Agua

El Bicarbonato Ferroso puede también descomponerse en óxido ferroso-férrico (Fe_3O_4) (Magnetita) y en carbonato ferroso (FeCO_3)

Todos éstos depósitos de FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeCO_3 se han localizado y son generalmente los responsables de las temperaturas.

Arrastre de Impurezas en el Vapor.— Los arrastres de agua de una caldera causa que las sustancias originalmente disueltas en la misma sean llevadas con el vapor y se depositen en las válvulas de corte y no retorno, sobrecalentadores, tuberías de vapor y en la turbina.

Las obturaciones no uniformes y progresivas en las turbinas pueden causar fallas en los cojinetes de empuje, fricción del rodete, etc.

La cantidad de sólidos presentes en el vapor no nos indican siempre la cantidad de sales depositadas. El tipo de material que arrastra el vapor a la turbina es tan importante como la cantidad.

Las principales sales arrastradas son la sosa cáustica, el cloruro de sodio, el carbonato de sodio, el silicato de sodio y el fosfato de sodio. Estas sales dependiendo de su solubilidad a diferentes temperaturas se depositarán en la superficie caliente del sobrecalentador como el sulfato, carbonato y fosfato de sodio o en los diferentes álabes de la turbina, como el cloruro y silicato de sodio y la sosa cáustica.

Se han analizado una gran cantidad de depósitos para determinar la localización y tipo de material silíceo adherido a las aspas de la turbina. La Sílice se deposita en forma de los siguientes compuestos y en el orden siguientes:

| | | |
|--|---|----------------------------|
| 1.- $2 \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ | } | Arriba del punto de rocío. |
| 2.- $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ | | |
| 3.- $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ | | |
| 4.- SiO_2 Cuarzo | } | Abajo del punto de rocío. |
| 5.- SiO_2 Cristabolita | | |
| 6.- SiO_2 Sílice amorfa | | |

La información disponible sugiere que un vapor con un contenido de Sílice menor de 0.02 p.p.m. no causa depósitos en las turbinas.

Con anterioridad se han indicado los límites máximos de alcalinidad, sólidos disueltos, y sílice, necesarios para evitar la espumación y arrastre de sólidos y sílice a diferentes presiones de operación de las calderas.

Además de este control químico, el diseño de la caldera deberá contar con un buen medio mecánico para separar las masas de agua del vapor, sometiendo éste a una serie de cambios bruscos, golpes contra mamparas y fuerza centrífuga, secándolo finalmente en superficies amplias y a muy baja velocidad para conseguir la eliminación de la humedad.

En calderas de muy elevada presión y donde la sílice no puede ser reducida por el tratamiento externo a los valores convenientes, se somete el vapor a la acción lavadora del agua de alimentación, con lo cual se evitan costosas purgas para mantener la sílice en el agua de la caldera dentro de valores conservadores.

El lavado requiere un eficiente y rápido contacto entre el agua de alimentación y el vapor. Estos elementos se encuentran también dentro del mismo domo de vapor.

CAPÍTULO 6.-

6.- MANTENIMIENTO DE LOS GENERADORES DE VAPOR.

6.1.- GENERALIDADES.-

Con el fin de establecer la continuidad operativa integral de un generador de vapor es necesario realizar el mantenimiento - adecuado de máquinas, equipos, e instalaciones.

Es conveniente pues, ajustar los procedimientos en relación al equipamiento, sus características, estado, y al tipo de ave- - rias que pueden presentar en especial al grado de seguridad requerido.

Las medidas se aplican para establecer:

La detección precoz y prevención correctiva.- Se basa en - una inspección previa y adopción de medidas para evitar ave- rías.

La prevención correctiva.- Se basa en la adopción de medi- das para evitar averías.

La corrección preventiva.- Se basa en trabajos de correc- - ción precoz.

La corrección.- Se basa en la ejecución de trabajos para - eliminar averías.

Las medidas se pueden aplicar en forma:

Crítica.- Cuando la necesidad es urgente.

Periódica.- Cuando se aplica a lapsos determinados.

Cíclica.- Cuando se establece una sucesión de operaciones.

Programada.- Cuando se determina y establece el momento - oportuno.

6.1.1.- GRUPO DE MANTENIMIENTO.-

El grupo de mantenimiento para una planta de vapor, depende de su número, tipo de equipo instalado, tipo de combustible, facilidades del agua de circulación y localización con respecto a ciudades o pueblos en donde puedan encontrarse contratistas que económicamente den servicio, éstos son los principales factores que determinan el número de hombres empleados en el mantenimiento, esto varía de un hombre por cada 2 mw a un mínimo de 1 hombre por cada 10 mw de capacidad instalada. En donde existen varias plantas en un sistema, los hombres de mantenimiento pueden moverse de una planta a otra en las reparaciones mayores. En plantas pequeñas, los operadores pueden hacer trabajos de reparación con la ayuda ocasional de especialistas.

A medida que el grupo de mantenimiento crece, se debe dividir normalmente en eléctrico y mecánico, si el grupo mecánico es numeroso, se deberá subdividir en grupos por especialidades como, trabajos de calderas, tuberos, trabajos de refractario y aislamiento, soldadura, máquinas, herramientas y pintura. El equipo eléctrico se puede subdividir en; transformadores, motores, alumbrado, tableros y unidades de control. Se debe evitar la excesiva especialización y entrenar al personal para que opere en varias ramas del trabajo, esto simplifica los programas de trabajo y da más versatilidad al personal.

6.1.2.- TIPOS DE MANTENIMIENTO.

Hay dos clases de mantenimientos: Preventivo y Correctivo.

6.1.2.1.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO.-

Consiste en detectar con la anticipación requerida, la posible avería y adoptar las disposiciones necesarias para evitar que éstas se produzcan.

En general, la detección de la probable o posible avería se fundamenta en la prevención y la predicción necesaria para que el

equipo continúe funcionando en óptimas condiciones.

La predicción suele, generalmente, estar basada en la realización de inspecciones y verificaciones que determinan:

El límite de la vida útil del equipo, etc.

La evolución y tendencia de parámetros que informan sobre el desarrollo de anomalías internas.

6.1.2.2.- MANTENIMIENTO CORRECTIVO.-

Consiste en la reparación de las averías que se presentan sin previo aviso; imprevistamente y que pueden estar originadas por el mal uso del equipo, negligencia, 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.

Al mantenimiento correctivo se le llama:

De mejoras, cuando se introducen pequeñas mejoras que tienen una acción de corrección y prevención, que según el grado de urgencia se efectúan como trabajos críticos o programados.

De emergencia, cuando se deben efectuar de inmediato las reparaciones.

Común, cuando la avería permite ser reparada según programa acorde con la urgencia.

6.1.3.- INSPECCION PRELIMINAR.-

6.1.3.1.- MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA INSPECCION.-

Antes de inspeccionar una caldera es necesario tomar ciertas precauciones. El procedimiento a seguir para dejar a la Caldera en condiciones seguras de Inspección debe seguirse al pie de la letra y una vez realizado ésto, puede procederse a ejecutar la inspección.

La inspección tiene por objeto conocer las condiciones en las que se encuentra operando y el grado de conservación de la misma, pudiendo hacerse la inspección con el equipo en o fuera de servicio, de acuerdo con el alcance pretendido pero siempre sujeta a las medidas de seguridad.

6.1.3.2.- SEGURIDAD DEL PERSONAL.-

Toda inspección se hará teniendo las medidas de protección personal. Se toman en cuenta las condiciones de la atmósfera interna verificando el contenido de oxígeno, gases tóxicos o explosivos, así como su temperatura.

La temperatura debe ser reducida a nivel seguro para el personal debiendo proporcionar una ventilación adecuada, también debe hacerse pruebas de gas en el interior del hogar para verificar la ausencia de gases combustibles, mediante el explosímetro.

La persona que inspeccione el interior de la caldera o de su equipo debe tener en todo tiempo comunicación con el exterior con una persona capacitada y dispuesta para atender cualquier situación de emergencia.

6.1.3.3.- PLANEAMIENTO.-

Toda inspección del equipo deberá estar precedida de un programa de inspección que fije el motivo, límite o alcances, condi-

ciones bajo las cuales se va a verificar y las medidas necesarias para la seguridad de la inspección.

Debe fijarse de antemano la clase de equipo de protección más apropiado que se usará, a fin de que la inspección sea completamente segura; verificando antes de su uso el buen estado del equipo.

Cuando se trabaja en el interior, el personal debe laborar con ropa con la cual se proteja el cuerpo, usando gafas y mascarillas para la protección de los ojos y vías respiratorias de las sustancias corrosivas, depósitos o partículas de ceniza volátil.

Las precauciones para la seguridad de inspectores y operarios son fundamentales.

6.1.3.4.- PREPARACION PARA LA INSPECCION.-

Siempre que sea posible debe hacerse la inspección con el equipo fuera de servicio, pero de no ser posible, se tomarán las medidas de seguridad.

En servicio y en movimiento; solo se permitirá una Inspección ocular a una distancia fuera del alcance de partes en movimiento.

En servicio y estáticas; no se harán pruebas destructivas - tales como (golpeo con martillo, taladro, etc.); se harán únicamente o libraciones 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 está conectado, colocando bloques para la seguridad y pruebas posteriores, tales como: juntas ciegas en líneas de gas combustible (purgando con aire y hacia la atmósfera el gas acumulado entre la junta ciega y los quemadores) en líneas de gas combustible a pilotos, en líneas de combustible -

líquido a la caldera, bloqueos en válvulas de seguridad (aprovechándose para la inspección y recalibración de dichas válvulas), - bloqueos en línea de vapor y líneas de alimentación de agua.

6.1.3.5.- CONTENIDO.-

Toda caldera por inspeccionar debe ser previamente desalojada de su contenido interior, y por ser éste corrosivo a veces es necesario efectuar una limpieza apropiada. De ser posible debe - hacerse una inspección preliminar, es decir antes de proceder a - la limpieza.

Cuando la caldera se ha enfriado lo suficiente, deberán ser abiertas las válvulas para drenar el agua y proceder a mover o - quitar los registros hombres y de mano, para permitir la circulación de aire a través de la caldera.

6.1.3.6.- ALCANCES DE LA INSPECCION.-

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

6.1.3.7.- HERRAMIENTA Y EQUIPO.-

Las herramientas y equipo útil para la inspección combinada interior y exterior de calderas dependerá del número de hombres - inspeccionando simultáneamente.

6.1.3.7.1.- HERRAMIENTA.-

Martillo de bola de Inspector 4 o 6 onzas.

Calibradores de interiores y exteriores.

Escala de acero de 6 pulgadas con 1/64 de graduación.

Rasquetas.

Lámpara portátil.

Un cordón con extensión con pequeños y ligeros socket y lámpara con su protección.

Escaleras portátiles.

Cepillo de alambre.

Crayón ó pintura.

Libro de notas.

Records previos de Inspección.

Lentes de aumento.

Espejos.

Tafas.

Mascarillas contra polvo.

Guantes, etc.

6.1.3.7.2.- EQUIPO.-

Equipo medidor de espesores (tipo radiación).

Equipo de examinación de partículas magnéticas.

Equipo de Inspección de tinturas penetrantes Dye-Check.

Equipo medidor de incrustaciones, etc.

6.1.4.- REPORTES DE AVERIAS.

Reportes de fugas, de equipo que opera incorrectamente, de una necesidad de reparación especial o de alguna inspección, se hacen mejor usando reportes de avería o tarjetas. El operador notifica la falla escribiendo brevemente la localización e historia de la avería. Los reportes de averías son recogidos diariamente y entregados al superintendente de la planta o a su ayudante, quienes asignarán al supervisor de mantenimiento o mecánico que le corresponda, según sea el tipo particular del trabajo. Los reportes de avería son algunas veces hechos por duplicidad para que el personal de mantenimiento también tenga una copia, ya que el supervisor de mantenimiento también tiene una copia en donde anota a los hombres que son asignados para la reparación, esto da una secuencia adecuada y ayuda a repartir el trabajo correctamente. La no-

tas del mecánico que lleva a cabo el trabajo las entregará a su jefe de grupo cuando esté terminado. Los reportes de falla que se han terminado pueden mantenerse a la mano como una referencia en la lista de revisión, o bien algunas veces son descartados tan pronto como se reporta que la reparación ha terminado.

6.1.5.- PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.-

Previo a 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 cuándo 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 hacen las inspecciones y de esta manera evitar un reparto equivocado e inspeccionar que se haga un mantenimiento correcto a través de los canales regulares. Cuando las inspecciones se completan, se revisan y se anotan en el diagrama; si se emplea la forma tubular se marcan cuando se hace la inspección, reportándose los resultados de dichas inspecciones y anotándose abajo cada unidad particular; 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 aseguran que cualquier falla se localice al principio para que no pueda causar daños al equipo. La experiencia nos ha demostrado que los costos totales se reducen llevando un control y records correctos, y la continuidad del servicio es correcta, usando el sistema de mantenimiento preventivo.

6.1.6.- MANTENIMIENTO REGULAR.-

Los equipos modernos en las plantas de vapor son diseñados para trabajar continuamente sin parar, entre revisiones mayores. El mejor tratamiento de agua juega un papel importante prolongando los periodos para limpieza y reparación de los potos. Las cal

--deras se inspeccionarán una o dos veces por año, así como la mayor parte auxiliar de calderas con excepción de pulverizadores o ventiladores, los cuales son instalados por duplicado y tienen períodos similares que los anotados.

El equipo auxiliar se inspeccionará anualmente durante la revisión de calderas o en cualquier momento que sea posible cuando se usa equipo auxiliar duplicado. El equipo eléctrico no sujeto a condiciones severas de suciedad tales como los motores tendrán similares períodos de revisión como los anteriores.

Al removerse el alambrado antes de desconectarse, debe ser cuidadosamente etiquetado para evitar una falla por una conexión defectuosa. Cualquier ajuste deberá anotarse para obtenerse el mismo después de la reparación; los tornillos y 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; debe tenerse especial cuidado en las huelgas de la máquina que dan evidencia de corte por vapor o agua, deterioro o rotura del metal. Las fotografías pueden usarse efectivamente para mostrar las condiciones de cada parte y que sea difícil de describir con palabras o dibujos. Los cambios de huelgas de chumaceras así como uso de los sellos y empaques deben anotarse.

En estaciones que tienen más de una caldera alimentando a un cabezal de vapor, es posible hacer inspecciones de caldera y mantenimiento sin excesivo esfuerzo por el tiempo; con una sola caldera por turbina sin interconexión con unidades adyacentes, la caldera reduce las posibilidades eléctricas de la planta, por lo que se debe hacer una coordinación en la inspección y un programa para la limpieza con objeto de mantener al mínimo el tiempo usado. Donde existen auxiliares duplicados de la caldera, su mantenimiento puede ser programado en otro tiempo con respecto a la caldera. Cuando la caldera está fría se deben abrir las puertas de inspección y tener a la mano andamios, luces, herramientas y el equipo-

necesario listo para su uso en cuanto se pueda entrar al horno. El enfriamiento de la unidad puede hacerse más rápido dejando en operación los ventiladores ajustándolos a una caída de temperatura de 30 a 50°F/hora; esto se puede sacar por la presión del vapor, temperatura del metal del horno o temperatura de los gases saliendo de la caldera. Cuando la presión ha llegado a la atmosférica, el agua de la caldera debe purgarse para aumentar el enfriamiento.

Después de que se hayan etiquetado válvulas y conexiones para que den una completa seguridad en el trabajo de la caldera, se debe hacerse una inspección cuidadosa de las partes a presión, -- tanto internas como externas. El horno de ladrillo refractario, -- baffles (paredes directrices de los gases) y quemadores o carboneras, deben ser cuidadosamente revisados y reparados para asegurar que la unidad trabajará con seguridad hasta la siguiente revisión. La limpieza de la caldera debe ser internamente, y turbinada si es necesario. Es buena precaución, cuando se usa turbina de limpieza, tomar muestras de la incrustación. Bajo ciertas condiciones la limpieza de ácido de la caldera es aceptable. Las condiciones de elementos del sobrecalentador y los soportes deben observarse y repararse si es necesario. Las válvulas de seguridad se deben inspeccionar, la descarga de la chimenea y los colectores de hollín se limpiarán y en caso necesario repararse. Los ventiladores se revisarán y se verá que su condición mecánica sea correcta, se observará el desgaste en los tipos inducidos y hará lo que se requiera. Las reparaciones deben balancearse y hacer en caso dado el repuesto completo de varias partes. El equipo que mueve el carbón y cenizas debe repararse durante la revisión de la caldera. 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 los hombres que trabajan en las diferentes partes de la caldera y elaborar un plan para el mejor orden y secuencia de los diferentes trabajos, con la caldera bien limpia y una inspección interna por una compañía de seguros o por un inspector del gobierno si es necesario. Después de terminar la inspección interna de la calde-

ra, se deben cambiar las juntas y llenarse la caldera con agua para hacer una prueba hidrostática a la presión de operación a fin de detectar las fugas que hubiere. Las válvulas de seguridad deben observarse en la prueba para 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 cual se harán los arreglos necesarios para que esté presente a la hora de hacerse.

Cuando se han retirado las etiquetas de licencias y éstas están registradas por las personas adecuadas, la unidad puede encenderse en la forma acostumbrada. Se debe disponer de uno o dos hombres para apretar 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. La mayor parte del equipo se revisará cuando se lleva a efecto la revisión del equipo mayor, pues este trabajo se hará más seguro y en mejores condiciones estando la planta parada que en operación.

6.1.7.- REPARACIONES GENERALES.-

6.1.7.1.- CRITERIOS PARA LA REPARACION GENERAL.-

Debido a las circunstancias la importancia del equipo ha aumentado, por lo que las Reparaciones Generales deberán ser hechas con un criterio bien definido. Los criterios que se deberán tener en cuenta al elaborar el programa de Reparación General de un generador de vapor, serán los siguientes:

- a) Aumentar la eficiencia térmica del generador.
- b) Aumentar la seguridad de operación.
- c) Dejar el generador en posibilidad de soportar largas corridas.
- d) Acortar al máximo el tiempo de reparación.

a).- Aumentar la eficiencia térmica.- Al analizar los elementos de un generador que influyen en la eficiencia térmica del

mismo encontramos los siguientes:

EQUIPOS DE COMBUSTION.-

Calentador de combustóleo.

Quemadores.

Tiros.

GENERADOR.-

Maquinillas sopladoras de hollín.

Purgas continuas.

Paredes de refractario.

Precalentador de aire con gases de combustión.

Precalentador de aire con vapor.

Grado de incrustación de las paredes interiores de domos y tuberías del generador.

De todos los puntos anotados anteriormente, descartaremos - el calentador de combustóleo, ya que por ser común a toda la batería no se le podrá hacer limpieza; las purgas continuas de agua - son necesarias; finalmente, se ha observado que generalmente los generadores, después de una corrida de 2 años no se presentan graves incrustaciones, por lo que se ha decidido hacerles el lavado químico cada 4 años. Todos los demás puntos serán tomados en - - cuenta en toda Reparación General.

b).- Aumentar la Seguridad.- Este punto es el más importante de todos, ya que se trata de salvaguardar vidas y la totalidad del equipo, en este aspecto se pondrá especial atención en:

Válvula de seguridad.

Sistemas de protección.

Sistemas de control.

c).- Dejar el Generador en posibilidad de soportar largas - Corridas.- Es importante recordar que no se cuenta con capacidad de generación de reserva, por lo que la salida de un generador -- por alguna falla a reparación parcial o baja generación por falla traerá serios problemas, por lo que es conveniente no escatimar - medios materiales o económicos, para que se tenga la seguridad --

que el generador soportará cuando menos el tiempo necesario para que se cumpla todo el programa de reparaciones generales, operando con una eficiencia aceptable.

d).- Acortar al máximo el tiempo de reparación.- En la actualidad la capacidad de generación de vapor en las Refinerías es insuficiente, por lo que es necesario sincronizar las salidas de las plantas a reparación general con la salida de los generadores de vapor.

Existe una subestación eléctrica de enlace del sistema de las Refinerías con la Comisión Federal de Electricidad, la cual proporciona un 25 por ciento de la energía eléctrica consumida. No es recomendable consumir más energía a la CFE por no tener suficiente seguridad el servicio que proporciona, siendo el problema más frecuente la variación en su frecuencia, esto puede producir fallas en la planta eléctrica que repercutirán, produciendo incluso un paro general de toda la Refinería.

Para tener una idea de lo que cuesta un paro de una sola de las plantas, cuando una de las plantas de desintegración catalítica para por cualquier falla, su parada cuesta aproximadamente 10 millones de pesos diarios. Ahora bien cuando es un paro instantáneo, todos los productos se saldrán de especificación, para poder volver a tener los productos dentro de especificación se necesitará de hasta un día, por lo que una falla incluso instantánea podrá tener como consecuencia un día sin producción.

Los problemas anteriores los podremos resolver mediante las siguientes soluciones.

1).- Adquisición de equipo.- Se podría solucionar el problema adquiriendo generadores de vapor para cubrir el déficit de capacidad de generación, e incluso para tener cierta capacidad de reserva. Esta decisión sólo podrá ser tomada por las altas autoridades de la Gerencia, por lo que se tendrán que buscar soluciones con el equipo que se cuenta.

2).- Programas de reparaciones.- Una solución eficaz es sincronizar las salidas de las plantas, así cuando una planta de proceso sale de operación, disminuyen la demanda de vapor, hecho que se aprovecha para sacar alguno de los generadores de operación, de acuerdo con los programas de reparaciones generales.

3).- Acortar el tiempo de reparaciones.- Generalmente trabajando un solo turno y aproximadamente 4 horas diario de tiempo extra, las reparaciones generales ordinarias (cuando no se presentan problemas mayores) incluyendo el levado químico, se realizan en un promedio de 25 días. Pero si se piensa que la seguridad de la instalación industrial depende de este generador, bien vale la pena acelerar al máximo por concepto de tiempo extra, la reparación del mismo, ya que el costo de la mano de obra sólo aumentará en un 12 por ciento aproximadamente el costo total de la reparación. Este 12 por ciento solo representará una mínima parte de la cantidad de dinero que se puede perder por una falla que se produzca y no se pueda soportar por la falta de este generador. Además esto dará tolerancia para hacer paros de generadores en mal estado, fuera del programa para hacer revisiones del estado del mismo, ó reparaciones menores para lo cual sea necesario parar el generador.

6.1.7.2.- MEDIDAS DE SEGURIDAD DURANTE LAS REPARACIONES.

La mayoría de los accidentes que ocurren en una planta de Calderas se presentan en las reparaciones, siendo necesario tomar las medidas de seguridad para cada caso.

En los trabajos de soldadura deberá hacerse una prueba de gases explosivos para verificar que la atmósfera del lugar, donde se efectúa la reparación esté exenta de gases explosivos.

En calderas no deben hacerse reparaciones de ninguna clase estando el equipo en servicio.

Para la inspección externa de la caldera y equipo auxiliar accesible no son necesarias precauciones particulares.

En cambio para una inspección combinada interna y externa - se requiere una precaución más extensa, principalmente el enfriamiento y la apertura de la caldera con una entera limpieza, usando herramientas manuales para remover la escoria dura y ceniza, - la cual se adhiere a los tubos externos o superficies de los tubos sobre todo en calderas de fuego de combustible sólidos.

Por el lado del interior de los tubos y domos debe hacerse un lavado para remover lodo, escamas y depósitos similares. La operación de lavado debe hacerse desde arriba tan rápido como sea posible, para llevar el material hacia abajo del flujo y desalojarlo; una manguera de hule con suficiente presión de agua ó con herramientas manuales pueden removerse las escamas blandas.

Las precauciones que deben ser tomadas son las de vigilar - que el agua no entre en contacto con el refractario de la cámara de combustión; si ésto no puede ser evitado, el refractario deberá ser secado cuidadosamente cuando la caldera sea prendida.

6.1.7.3.- MANO DE OBRA NECESARIA EN LA REPARACION GENERAL.-

Para un período de 7 días en los tres turnos se utiliza el siguiente personal:

| | | |
|-----------------|----|-----------|
| Tuberos | 26 | Personas. |
| Paileros | 23 | " |
| Soldadores | 21 | " |
| Electricistas | 4 | " |
| Albañiles | 12 | " |
| Carpinteros | 6 | " |
| Pintores | 15 | " |
| Obreros | 76 | " |
| Instrumentistas | 6 | " |

Los cuales se muestran en el diagrama siguiente:

MANO DE OBRA NECESARIA EN LA REPARACION GENERAL.

| ESPECIALIDAD | DIAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| Tuberos | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | 1 | 3 | 2 | 1 | | | 1 | 1 | 1 |
| Paileros | | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | | | | | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | |
| Soldadores | | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Electricistas | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Albañiles | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | |
| Carpinteros | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | | |
| Pintores | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| Obreros Generales | | 3 | 9 | 13 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Operarios Instrumentistas | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |

6.1.8.- FACILIDADES DE TALLER Y HERRAMIENTAS.-

En las plantas pequeñas, un banco de trabajo y un tornillo de banco completado con herramientas de mano, pueden ser suficientes; a medida que la planta es mayor, se requieren grandes áreas para talleres y herramientas más completas, hasta llegar a tener una serie de talleres, tales como reparación de transformadores, reparación de motores, mantenimiento eléctrico en general, taller de tubería, soldadura, herrería, carpintería, instrumentos, máquinas, herramientas, etc. Estos talleres de preferencia, deben estar centralizados y agrupados para tener acceso adecuado a la planta y a los almacenes.

Una planta de mediano tamaño, debe tener el siguiente equipo en el taller: torno pequeño y torno de mediano tamaño, taladro esmeril, sierra mecánica, máquina de hacer cuerdas, prensa hidráulica, soldadura autógena y eléctrica, con adecuada instalación para las necesidades de los soldadores. Si la planta tiene posibilidad para mandar hacer trabajos grandes a un taller comercial -- que pueda hacerlo, se deben mandar hacer, ya que así es más económico que instalar maquinaria que rara vez se usa. Algún equipo especial es suministrado por la compañía, tales como: llaves para tuercas en trabajos de tubería, llaves de impacto, rollador de tubos, virador tipo turbina para tuercas, estrobos, cadenas, diferenciales, marros, cortador de tubo, taladros de mano, taladros eléctricos o de aire, megger para pruebas eléctricas, guías para conduits, etc., también se debe tener herramientas para tuberías, extensiones, herramienta de limpieza, brochas para pintar, herramientas de mano, tales como alicates, desarmadores, martillos, micrómetros, calibre de interiores y de profundidad. El empleado algunas veces se abastece de su propia herramienta sin ser indemnizado por pérdidas y desgastes; otras compañías suministran todas las herramientas y reponen las que están perdidas o rotas.

En las plantas grandes se tienen en cuenta, control de herramienta; el personal de mantenimiento tiene un block numerado de vales por medio del cual se cambian vales por herramientas y de no estar la herramienta en su sitio, por el vale se sabe en --

poder de quién está. El encargado de las herramientas, es el responsable de tener en condiciones de seguridad y operación la herramienta para reducir los accidentes por malas condiciones de ésta.

6.1.9.- MATERIALES Y PARTES PARA REPARACION.-

Si la planta se encuentra cerca de una ciudad de cierta importancia en donde sea posible aprovisionarse de refacciones y materiales en cualquier tiempo es, generalmente, deseable tener reservas indispensables de partes esenciales del equipo, aunque sean partes usuales estándar, tales como baleros, empaques, tornillos y tuercas que pueden ser obtenidas rápidamente en la localidad; hay un gran número de partes que no son obtenibles fácilmente excepto de los fabricantes. El fabricante usualmente suministra una lista de refacciones recomendadas para cada pieza del equipo al hacerse la compra si estas partes se guardan esperando usarse en reposición de las partes que fallan; por experiencia sabemos que teniendo refacciones a mano, se evitan problemas.

Después de que las refacciones usadas están a mano, es necesario mantenerlas guardadas en lugares en donde no se deterioren y puedan localizarse. Un inventario constante de todos los materiales disponibles, ayudará al personal de mantenimiento para conocer en que lugar se van poniendo las refacciones que se necesitan. Todas las refacciones se controlarán con tarjetas, en donde se anotará el número de orden y de unidades correspondientes al equipo, para que fácilmente puedan manejarse, identificarse y almacenarse. Debe hacerse un esfuerzo para evitar duplicidad de partes en el almacenamiento, por ejemplo: los baleros pueden ser intercambiables, aunque tengan diferentes números, puesto que son hechos por diferentes fabricantes. Las partes para máquinas similares, aun cuando no idénticas son intercambiables. El dinero se ahorrará con una correcta reserva de partes disponibles.

Un suministro de tubería pequeña, soportes, válvulas, empaquetaduras, empaques para la caldera y otros materiales para empaque, tubería, pegamento, aceite para cortar, tornillos, tuercas, clavos, bandas, material de limpieza, alambre de cobre, líquido -

para limpieza, barniz aislante, pintura, cemento refractario, soldadura, se deben mantener a mano, pues deben estar íntimamente ligados con el trabajo de mantenimiento. Se designará a varias personas de la organización para observar que la cantidad almacenada de estos materiales se mantiene dentro de niveles deseados.

6.1.10.- Elementos para la programación y organización del mantenimiento preventivo.

6.1.10.1.- Etapas del mantenimiento preventivo.

Para organizar eficientemente el mantenimiento preventivo y llevarlo a la práctica con un máximo de ventajas, conviene -- planear de antemano las actividades que se han de desarrollar en los equipos a los que se les ha de aplicar el mantenimiento.

Para el desarrollo de la planeación, programación y organización del mantenimiento preventivo nos apoyaremos en un plan de 6 etapas, a registrarse en formas especiales, cada una de las cuales tiene un número, objetivo, y normas para su llenado.

Tales números y objetivos se enuncian a continuación:

Forma UNAM-1.

INVENTARIO E IDENTIFICACION DE INSTALACIONES Y EQUIPO.

Forma UNAM-2.

CLASIFICACION DE EQUIPO.

Forma UNAM-3.

CALENDARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Forma UNAM-4.

INFORME DIARIO DE LABORES.

Forma UNAM-5.

CONTROL DE MANTENIMIENTO OPERATIVO Y DE REPARACION DE DAÑOS.

Forma UNAM-6.

SOLICITUD DE TRABAJO.

La descripción y los detalles del plan se presentarán a continuación.



SISTEMA DE _____
 DE _____
INVENTARIO E IDENTIFICACION DE INSTALACIONES Y EQUIPOS

NOMBRE DE LA INSTALACION O EQUIPO _____
 LUGAR EN EL QUE ESTA INSTALADO _____
 NUMERO DE IDENTIFICACION _____
 FABRICANTE _____
 DIRECCION POSTAL _____

PLACA DE IDENTIFICACION Y DATOS TECNICOS ADICIONALES

[Large empty area with horizontal lines for additional identification data]

| INFORMACION DEL FABRICANTE | AD-AYTA | NO EXISTE |
|---------------------------------|---------|-----------|
| MANUAL DESCRIPTIVO Y DE MONTAJE | | |
| MANUAL DE OPERACION | | |
| MANUAL DE MANTENIMIENTO | | |
| LISTA DE PARTES | | |

HOJA Nº _____ DE _____

INVENTARIO E IDENTIFICACION DE INSTALACIONES Y EQUIPOS.-

Forma UNAM - 1.

DEFINICION.- Prácticamente, esta operación es la primera etapa del plan. Consiste en el registro individual de las partes constitutivas de los equipos, incluyendo también los datos que se puedan obtener de los archivos de la oficina de operación.

OBJETIVO.- Además de la utilidad inherente a todo inventario, éste tiene como objetivo proporcionar la base para la programación y organización del mantenimiento preventivo.

La forma de inventario e identificación de instalaciones y - - equipos, UNAM-1, se llenará como se detalla enseguida:

MANERA DE LLENAR LA FORMA UNAM-1.-

1.- En la parte superior, en el rectángulo a la izquierda, - - debe anotarse la clase de sistema, el nombre de la localidad y Estado en que se encuentra; en el de la derecha se pondrán los nombres de las personas que realizaron las actividades que se indican, y la fecha en que se terminó el llenado de la forma.

2.- En seguida, en el renglón respectivo, se pondrá el nombre de la instalación o equipo que se está inventariando, usando una -- hoja para cada unidad.

3.- En el siguiente renglón se anotará el nombre del lugar en que se encuentre instalado el equipo que se está inventariando, debiendo usarse para esto el nombre que, por mejor conocido, pueda -- más fácilmente identificarse.

4.- El renglón "número de identificación" no debe llenarse en el momento de efectuar el inventario. Las instrucciones para asignar este número se dan más adelante.

5.- Los dos renglones siguientes se llenarán con el nombre de la casa manufacturera o fabricante del equipo que se está -- inventariando, y su dirección postal.

6.- Bajo "placa de identificación y datos técnicos adicionales", se anotarán los datos completos de la referida placa -- que la casa manufacturera o fabricante fija siempre en cada -- equipo; datos que deberán complementarse con otros técnicos adicionales que se encuentren en los archivos de la oficina del -- organismo operador.

7.- En la parte inferior de la hoja, bajo "información del fabricante", en los renglones correspondientes a los manuales o lista que se encuentren en la oficina, se pondrá una cruz en la columna "adjunta", o bien una cruz en la columna "no existe" en correspondencia a los que no se encuentren. En este caso, hay que escribir inmediatamente a la casa fabricante solicitando la información faltante y, una vez que se haya obtenido, se deberá cambiar la posición de la cruz, de la columna "no existe" a la columna "adjunta".

8.- Para efectuar este trabajo inicial de inventario, y poder asentar todos los datos en las formas UNAM-1 correspondientes a cada unidad del equipo, es indispensable ir a cada una de las diferentes instalaciones, y obtener los datos que haya sobre el terreno, que posteriormente se complementarán con los -- que se encuentren en la oficina respectiva y con aquéllos que --

-deban investigarse.

Este trabajo debe ser efectuado en la forma más completa y exacta que sea practicable, sin omitir ninguna de las unidades-existentes en cada instalación, ni alguno de los datos que pueden conseguirse de cada unidad en el sitio en que se encuentre, pues las formas UNAM-1, una vez llenas, constituyen la base sobre la cual se sustentará la organización del mantenimiento - - preventivo.

CLASIFICACION DE EQUIPO**Forma UNAM - 2.**

OBJETIVO.- Registrar individualmente los equipos, incluyendo los datos que puedan obtenerse.

Esta forma de inventario formará parte del Kardex se llenará como se detalla enseguida.

MANERA DE LLENAR LA FORMA UNAM-2.

- 1.- En la parte superior respectiva, se pondrá el nombre de la instalación.
- 2.- En los renglones siguientes, anotar los datos ---
Técnicos adicionales referidos de placa.
- 3.- En la parte inferior se indicarán las fechas y el tipo de inspección que se le haga al equipo en --
cuestión.

5.- Por último, en la columna extrema derecha se pondrá la periodicidad con que deben ejecutarse los trabajos, tomándola de la correspondiente especificada para cada grupo de equipo en el capítulo segundo.

Por lo anterior puede apreciarse que esta forma permite -- presentar un calendario de mantenimiento preventivo anual completo, aprovechando las normas de mantenimiento y otros elementos de programación.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE FLUIDOS Y TERMICO

INFORME DIARIO DE LABORES

FORMA UNAM-6

FECHA: _____ TURNO: _____
 CUADRILLA: _____ ELEMENTOS: _____

LUGAR DONDE SE TRABAJO: _____

TRABAJOS REALIZADOS: _____

MATERIALES UTILIZADOS: _____

EQUIPO Y HERRAMIENTA: _____

OBSERVACIONES: _____

SE EMPEZO EL TRABAJO A :

SE TERMINO :

COSTO:

RESPONSABLES DE LA CUADRILLA

SUPERVISOR DE LOS TRABAJOS

V. B. JEFE DEL SERVICIO

INFORME DIARIO DE LABORES**Forma UNAM - 4 .**

OBJETO.- Esta forma tiene por objeto recabar la información diaria de la ejecución de los trabajos de mantenimiento y de reparación de daños, controlando el trabajo - realizado, personal que lo realizó, tiempo, equipo, herramientas y materiales utilizados, y el personal que revisó dichos-trabajos.

N O T A : - Las columnas se llenarán como lo indican sus encabezados.

CONTROL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y DE REPARACION DE DAÑOS.-**Forma UNAM - 5.**

OBJETO.- Esta forma tiene por objeto verificar la correcta ejecución de los trabajos de mantenimiento y de reparación de daños, según consten en la forma UNAM-3, controlando la calidad del trabajo realizado, el personal que lo realizó, el tiempo y los repuestos que empleó, y el personal que revisó dichos trabajos.

MANERA DE LLENAR LA FORMA UNAM-5: -

1.- Los dos rectángulos superiores se llenarán como los de la forma UNAM-3. La fecha que se pondrá será la de aprobación de lo que consta en la forma. Abajo, al centro, se indicará el año correspondiente.

2.- Las columnas se llenarán como lo indican sus encabezados.

N O T A . - Si se desea que esta forma sea de tamaño carta para las columnas segunda y penúltima, en muchos casos, habrá que usar alguna especie de clave para designar en forma compacta los trabajos que se realizaron y los repuestos que se usaron



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
 DEPARTAMENTO DE FLUIDOS Y TERMICO

FORMA UNAM-6

| | | | |
|-----------------------|--|-----------------|--|
| REQUISITOS DE TRABAJO | | TIPO DE TRABAJO | |
| No. | | No. | |

| | | | |
|-------------------------|--|----------------------------|--|
| NOMBRE DEL DELICUANTE | | PLANTA O LUGAR DEL TRABAJO | |
| DESCRIPCION DEL TRABAJO | | | |
| ADYACENTES | | | |

| | | | |
|---------------------------------|-----|-------------------------------|------|
| FORMA | MES | DIA | HORA |
| DELICUANTE | | | |
| ESCRITURA | | | |
| <input type="radio"/> ORDINARIO | | <input type="radio"/> URGENTE | |
| NOMBRE DE LA EMPRESA | | | |

| ANALISIS DE REQUISITOS PARA EFECTUAR EL TRABAJO | | ESCRIBA SI O NO | VERIFICO CADA PUNTO CIRCULADO |
|--|--|-----------------|-------------------------------|
| 1.- DEBE ESTAR FUERA DE OPERACION EL GRUPO | | | |
| 2.- DEBE ESTAR DEPRESIONADO Y PURGADO | | | |
| 3.- DEBE RECIBIRSE AISLADA CON VALVULAS | CON JUNTAS CERRAS | | |
| 4.- SE REQUIERE LAVADO NEUTRALIZADO O VAPORIZADO DEL GRUPO Y TUBERIAS ADYACENTES | | | |
| 5.- PUDO QUEDAR PRODUCTO REFLAJABLE O ADHESIVO ENTERRADO | | | |
| 6.- DEBE ENCONTRARSE TRABAJOS ADYACENTES | | | |
| 7.- HAY IMPEDIMIENTOS VENTILACION | | | |
| 8.- EL GRUPO A CERCITO ELECTRICO DEBE ESTAR DESCONECTADO | | | |
| 9.- LOS INTERRUPTORES DEBE ESTAR ABIERTOS CON BARRAS Y ETIQUETADOS | | | |
| 10.- DEBE A TRABAJAR EN CIRCUITO DESARMO DE ALTA TENSION | | | |
| 11.- DEBE RECIBIRSE LEONIAS A SERVICIOS AUXILIARES | | | |
| 12.- DEBE PONERSE A TIERRA Y EN CORTO EL CIRCUITO O GRUPO | | | |
| 13.- SE DEBE USAR EQUIPO ESPECIAL Y/O EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL | | | |
| ANALIZO: | VERIFICO CONDICIONES Y ENTREGA PERSONAL DE MANTENIMIENTO | | FECHA |
| OBSERVACIONES | | | |

| PERMISO PARA TRABAJO PELIGROSO | | | |
|---|----|------------------|-----------|
| A.- PRUEBA DE GAS | SI | NO | RESULTADO |
| B.- PROTECCION CONTRA INCENDIO | SI | NO | FECHA |
| C.- EL TRABAJO DEBE ENCONTRARSE EN CASO DE PELIGRO O EN SITUACIONES, POR NO CUMPLIRSE ALGUNO DE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD ESPECIFICADOS, POR HABER CAMBIADO ALGUNA DE LAS CONDICIONES EN QUE SE AUTORIZO, O SER EN CASO DE: | | FECHA | |
| D.- OTRAS RECOMENDACIONES | | | |
| POR INSPECCION Y DE GUARDAS | | FECHA | |
| TIEMPO DEL TRABAJO: TALLER | | | |
| DADO LA SUFICIENTE OPORTUNIDAD Y RECOMENDACIONES AL SR. | | | |
| SE INICIO EL TRABAJO A LAS | | SE TERMINO A LAS | |
| | | COSTO APROXIMADO | |

C.C.P. Dpto. de Seguridad Industrial
 C.C.P. Dpto. de Contabilidad

C.C.P. Dpto. de Superintendencia de Mantenimiento
 C.C.P. Dpto. de Superintendencia de Operacion

SOLICITUD DE TRABAJO

Forma UNAM - 6.

- 1.- El solicitante indicará en el renglón de "FECHA", el mes día y hora en que se solicita un trabajo, describiéndolo a continuación en el espacio "DESCRIPCION DEL TRABAJO", Asimismo, en el espacio "ANTECEDENTES", indicará la razón que justifique el -- trabajo, la causa de la falla que se trata de corregir, o bien las razones por las cuales se solicita.
 - 2.- El solicitante se quedará con su copia y entregará al grupo -- técnico del sector el resto de la solicitud.
 - 3.- El grupo técnico del sector jerarquizará y programará el trabajo poniendo la fecha de ejecución y marcando según sea de atención ordinario o urgente. Debe considerarse trabajo ordinario todo aquel susceptible de tomar su orden normal por no afectar en forma inmediata la seguridad o la producción. Al marcarse un trabajo "urgente", se pondrán las razones de ello en "RAZON DE LA URGENCIA".
 - 4.- El personal de operación hará el análisis de los 13 puntos de los "REQUISITOS PARA EFECTUAR EL TRABAJO", escribiendo SI ó NO en los cuadros correspondientes y encerrando en un círculo los números de aquellos puntos que deberán verificarse en el momento de hacer la entrega del equipo para la ejecución del trabajo. Si hay otras medidas de seguridad aplicables, no contenidas en los 13 puntos del análisis, las anotará en la sección - "OBSERVACIONES".
- Aquellos puntos que no tengan relación con el trabajo que va a ejecutarse, deberán ser tachados, En el punto 3 se selecciona

-rá marcando con cruz el cuadro correspondiente, si se debe aislar con válvulas o con juntas ciegas. En el punto 13 se especificará el tipo de equipo de protección personal (respiratorio, contra ácido, contra calor, para la cara, etc.) utilizando para ello el paréntesis del mismo renglón.

- 5.- Si la persona que hace el análisis considera que pueden existir condiciones riesgosas, ésto es, que pueden afectar la seguridad de los trabajadores o las instalaciones en el desempeño del trabajo solicitado, llenará los puntos A y B de la sección "PERMISO PARA TRABAJO PELIGROSO" marcando con una "X" -- los cuadros si ó no correspondientes. En el caso del punto A "PRUEBA DE GAS" deberá especificarse a continuación que clase de prueba se requiere, es decir "EXPLOSIVIDAD, TOXICIDAD O -- AGRESIVIDAD" según sea el caso. Cuando no se requiera el permiso para trabajo peligroso, tache la sección correspondiente.
- 6.- Una vez efectuado el análisis, la persona que lo efectuó firmará el espacio "ANALIZO" y desprenderá la copia marcada "OPERACION".
- 7.- Si el desempeño del trabajo requirió prueba de gas y/o protección contra incendio, desde el día anterior a su ejecución se entregará la solicitud al personal autorizado de Inspección y Seguridad quien dictaminará el tipo de protección contra incendio y las instrucciones para la misma, así como las recomendaciones que anotará en las secciones C. y D. En caso contrario, Operación guardará la solicitud y solamente entregará copia a Inspección y Seguridad.

- 8.- Inspección y Seguridad solicitará personal y equipo para la -- protección contra incendio usando la forma interna para tal -- efecto.
- 9.- Si se requiere equipo de protección personal, Inspección y Seguridad lo seleccionará, anotando el requerido en "OTRAS RE-- COMENDACIONES".
- 10.- El día de ejecución del trabajo, personal autorizado de Inspección y Seguridad hará la prueba de gas si se requiere firmará-- original y copia evaluando las medidas de seguridad anotadas -- por él y entregará la copia al ayudante de contra incendio, co-- mo orden para poner la protección. A continuación entregará -- el original a Operación para verificación de requisitos.
- 11.- El día de ejecución del trabajo, operación verificará el cum-- plimiento de las condiciones indicadas en el análisis compro-- bando los puntos circulados y cerciorándose que en las inmedia-- ciones no se este ejecutando otro trabajo que pueda conjugar -- un riesgo, entregando a continuación la solicitud al personal-- de mantenimiento, quien llenará los espacios de "ORDENO EL TRA-- BAJO" e indicará la "SECUENCIA Y RECOMENDACIONES AL SR. . . ." -- entregando y enterando debidamente de todo el contenido de -- dicha solicitud al personal ejecutor y cabos y/o mayordomos -- que corresponda.
- 12.- Cuando así se requiere para mayor claridad del trabajo, se de-- berá anexar un dibujo isométrico o croquis manuscrito, elabora-- do por la persona solicitante.

- 13.- El Ayudante de contra incendio permitirá la iniciación del trabajo solamente cuando el ejecutor de mantenimiento le presente el original de la solicitud, con la firma de Inspección y Seguridad a menos que en la sección D aparezca la recomendación -- "Para iniciar este trabajo deberá estar presente el Supervisor de Inspección y Seguridad", en cuyo caso detendrá su iniciación hasta que se cumpla dicha condición.

N O T A S

- A.- Si se requieren juntas ciegas el ingeniero de operación determinará en que lugares deben colocarse y el personal autorizado de Inspección y Seguridad verificará que se encuentren instaladas en dichos lugares.
- B.- Cuando un trabajo, por las condiciones especiales de riesgos en que se va a ejecutar, no queda totalmente cubierto por la forma anterior, deberá ser motivo de una reunión entre los técnicos de Elaboración, Mantenimiento e Inspección para analizar debidamente las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo, levantándose una minuta donde se asentará claramente la secuencia, medidas de seguridad y además recomendaciones.
- C.- Cuando para la ejecución de un trabajo exista una recomendación especial, ésta deberá respetarse al pie de la letra previa actualización en el momento de la ejecución.
- D.- En caso de trabajos en equipos eléctricos de alta tensión y donde se requiera libranza de servicios auxiliares, es obligatorio enterar al ingeniero de turno de Servicios Auxiliares, del lugar y del trabajo como requisitos para poder efectuarla.

B.- Cuando el trabajo que ampara la solicitud se prolongue por más de un día podrá revalidarse previa determinación de que prevalecen las condiciones en que fue autorizado el permiso, utilizando para ello el cuadro colocado en el reverso del original, donde se anotarán las fechas correspondientes, firmándose diariamente para constancia por las personas autorizadas de Operación, Inspección y Mantenimiento.

Esta revalidación podrá hacerse únicamente hasta por 7 días al cabo de los cuales deberá elaborarse nueva solicitud.

F.- Mantenimiento será el responsable de que no se extravíe el original de la solicitud que obra en poder del ejecutor, para poder efectuar el trámite de revalidación.

G.- El trámite de la revalidación será el mismo que el de la solicitud nueva, debiendo firmarse en el orden Mantenimiento, Operación y en el caso en que se requiera prueba de gas y/o protección contra incendio por Inspección y Seguridad. En este trámite la firma del personal de mantenimiento certifica que el trabajo será continuación del anterior, se ejecutará en el mismo lugar y con las mismas recomendaciones. La Firma del personal de operación certifica que las condiciones en que se autorizó ejecutar el trabajo no han cambiado en relación al mismo. El personal de Inspección y Seguridad certifica con su firma la vigencia de sus recomendaciones y la validez de la prueba de gas. Para esto último, deberá hacer prueba de gas diariamente como mínimo y más frecuentemente si ello es necesario.

H.- Cuando se trate de trabajos a efectuar en equipos y/o líneas - abiertas con duración de varios días, esta solicitud podrá ser substituida por una Minuta que reglamente una área de trabajos con riesgos calculados, la cual será formulada por el grupo -- técnico del sector.

CAPITULO 7

7.- ANALISIS DE FALLAS EN LOS GENERADORES DE VAPOR.

7.1.- MATERIALES Y TIPOS DE TUBOS.

7.1.1.- ANTECEDENTES.-

En la actualidad los tubos utilizados en la construcción de las calderas son de acero y forman la superficie de absorción de calor y proporcionan los circuitos de circulación en la mayoría de las calderas.

El tubo es el elemento componente que absorbe el calor en los economizadores, supercalentadores, superficies de las paredes de agua, superficie de convección de las calderas y en los calentadores de aire

Los tamaños más usuales de los tubos fluctúan entre 25 y 152 mm (1 y 6 plg) de diámetro, con espesores de pared entre 2 y 19 mm - - (1/16 y 1/4 plg). Algunos tipos de tubos menores (especialmente para los aparatos de control) varían entre 6 y 13 mm (1/4 y 1/2 plg) de diámetro. Los tubos pueden ser lisos o con superficie aumentada, en forma de aletas o pernos; pueden ser rectos o curvados y pueden ser, ya sea tubos de humo (fluses) o tubos de agua.

Los gruesos mínimos de las paredes de los tubos para calderas de calefacción se indican a continuación:

| Diámetro del tubo, en plg. | Grueso Mínimo de la pared del tubo, en plg. |
|---|---|
| De 1 plg en adelante, pero menos de 2.1/2 | 0.095 |
| De 2.1/2 plg en adelante, pero menos de 3.1/4 | 0.105 |
| De 3.1/4 plg en adelante, pero menos de 4 | 0.120 |
| De 4 plg en adelante, pero menos de 5 | 0.135 |
| De 5 plg. | 0.150 |

Los gruesos de las paredes de tubos para calderas generadoras de fuerza para las presiones máximas de trabajo, permitidas, se indican a continuación:

| <u>DIAMETRO EXTERIOR DEL TUBO, EN PIG.</u> | <u>GRUESO DE LA PARED DEL TUBO, EN PIG.-</u> | <u>PRESION MAXIMA PERMITI DA DE TRABAJO, EN lb/- plg²</u> |
|--|--|--|
| 1 | 0.065-0.085 | 270-780 |
| 1 1/2 | 0.075-0.120 | 230-1770 |
| 2 | 0.085-0.165 | 210-1860 |
| 2 1/2 | 0.095-0.200 | 200-1770 |
| 3 | 0.105-0.240 | 190-1770 |
| 3 1/2 | 0.120-0.300 | 220-1950 |
| 4 | 0.135-0.340 | 490-1920 |
| 5 | 0.150-0.420 | 400-1890 |

Debido a la disponibilidad de medios de limpieza a base de solventes (ácidos) para algunas partes, aunque no para todas, de las superficies en contacto con el agua, la longitud del tubo, por sí misma, no ofrece limitaciones de carácter termodinámico para el diseño. Como los costos aumentan considerablemente con cada cabezal de unión, o con cada división de la longitud de los tubos, hay la tendencia de utilizar tubos de gran longitud (21.34 m - 70 pies - y más), con muchas curvas.

Los tubos que se emplean en las calderas de fuerza son de acero al carbón o de acero aleado. En las calderas de calefacción de baja presión, se usan tubos de acero al carbón, de hierro dulce o de cobre. El material del que están hechos los tubos debe llenar las condiciones requeridas, impuestas por la presión y la temperatura de trabajo. El material para los tubos de los supercalentadores y recalentadores debe tener resistencia contra la elongación, la corrosión por el vapor y por los gases de la combustión, así como contra la ruptura por tensión, durante un período de servicio razonable. Los tubos para calderas que queman aceite combustible, son en ocasiones de aceros de aleación especial, resistentes a la corrosión contra combinaciones de Vanadio y Azufre a temperaturas que exceden los 704°C (1300°F).

7.1.2.- FABRICACION DE LOS TUBOS.-

Los tubos para caldera pueden ser fabricados, ya sea por el método de estirado en caliente o por el sistema de estirado en frío, lo que depende de su tamaño, tolerancia admitida y la calidad requerida -- del acabado. Desde el punto de vista metalúrgico, ambos métodos son -- procesos similares, encontrándose la mayor diferencia en el acabado su-

perforación y en la tolerancia admitida en sus dimensiones. Hay dos métodos comunes de fabricación de tubería; El proceso de fabricación de tubos sin costura, y el proceso de fabricación de tubos soldados a tope (tubos con costura).

DOBLADOS DE LOS TUBOS.-

Para las paredes de agua de los fogones, superficies de convección de las calderas, así como para los tubos exteriores de circulación ascendente y descendente, son comunes los dobleces de radio grande. Estos dobleces pueden quedar localizados en diferentes planos. - Los dobleces de radios cortos se hacen en máquinas dobladoras especiales y no presentan mayores problemas. Los dobleces de radios extremadamente cortos, como los que se requieren para las secciones de los sobrecalentadores, tienen que hacerse por un procedimiento de forjado en caliente.

PRUEBA DE LOS TUBOS:-

Los tubos para las calderas son probados a presiones hidrostáticas de 70 a 112.5 Kg/cm² (1000 a 1600 lb/plg²), o según los requisitos de las especificaciones correspondientes. La inspección final comprende el examen de la superficie, control micrométrico de las dimensiones y control de la medida de longitud.

ROLADO DE LOS TUBOS.-

Los extremos de la mayoría de los tubos o fluses para caldera son expandidos (excepto en las calderas de alta presión y en las de baja presión para calefacción residencial), dentro de los barrenos del cuerpo de la caldera, del domo, del cabezal o del espejo portatubos. Esta operación sencilla pero efectiva, que es conocida como rolado o expansión, provoca una reacción elástica que tiene una gran fuerza coherente, forma un cierre a prueba de fugas y tiene un efecto definido de soporte o de tirante a la tensión. Los extremos de los tubos, que sobresalen ligeramente de la pared del espejo, son abocinados, para facilitar el paso de los gases y formar un sello más seguro al flujo, o bien se rolan y se rebordean (formando una ceja), para eliminar la tendencia del borde a quemarse.

TUBOS DE AGUA.-

Los extremos de los tubos y niples suspendidos en las calderas acuotubulares, deben sobresalir no menos de 6 mm (1/4") ni más de 13 mm (1/2"), antes de ser abocinados (si el tubo está en ángulo, el -

sobresaliente máximo de 13 mm (1/2") se mide en el punto menos sobresaliente). El extremo del tubo debe ser abocardado o abocinado a un diámetro mayor en cuanto menos 3 mm (1/8"), que el diámetro del barreno en que entra el tubo; o de otra manera, el extremo puede ser rolado y sellado con un cordón de soldadura, sin ser abocardado, siempre que la ranura de la soldadura sea de 5 a 9 mm (3/16" a 3/8") y que el tubo sea reexpandido después de la aplicación de la soldadura.

TUBOS DE HUMO.-

Como los extremos de los tubos (o fluses) están expuestos al calor y al contacto con los productos de la combustión, pueden quemarse si son abocardados. Por este motivo los tubos son firmemente rolados y recorreados, o rolados y sellados con un cordón de soldadura alrededor del borde.

Los barrenos para los tubos en el espejo, se achaflanan o se rebajan a una profundidad cuando menos equivalente al grueso del flus. El flus no debe sobresalir de la cara del espejo más del equivalente del grueso de su pared. La profundidad del chaflán o del rebaje no debe exceder en más de una tercera parte de la dimensión del grueso del tubo. Si no se practica ni el chaflán ni el rebaje, el tubo debe sobresalir de la placa del espejo en una distancia cuando menos equivalente a su espesor, pero no más del doble de esta medida.

En todos los tipos de fluses soldados, los extremos son rolados antes de soldarse, para ser ligeramente rolados de nuevo después de haber sido soldados. El método primitivo de expandir los tubos, puede aplicarse en vez del rolado para cualquier unión rebordada o soldada.

7.1.3.- CURVADO DE TUBOS.-

a) Curvado en Frío.- El curvado en frío normalmente se hace en tuberías y tubos con diámetros y espesores de pared relativamente pequeños. Sin embargo, en algunas instalaciones existen equipos para curvado de tubos con diámetros exteriores de 10.3/4" (273mm y Schedules hasta 160, y pequeños espesores de pared hasta 24" (610mm de diámetro exterior).

b) Curvado en caliente.- El curvado en caliente se realiza a elevadas temperaturas. En aceros al carbón, aleados e inoxid-

bles, el grado de temperatura aconsejable normalmente oscila entre -- aproximadamente los 2000 y 1500°F (1093 y 816°C). El límite inferior depende del tipo particular de acero aleado. Exceptuando los grandes espesores de pared, generalmente es esencial un relleno con arena -- bien apisonada para evitar una ovalidad y un arrugamiento excesivos.

c) Ovalidad.-- La excesiva ovalidad en las tuberías de Calderas curvadas en frío ha dado lugar a un cierto número de roturas -- causadas por fatigas de corrosión. Los esfuerzos máximos se desarrollan a lo largo del eje neutro. En algunos países la máxima ovalidad admisible en el curvado de tubos y tuberías se determina tomando como base el diámetro exterior y el espesor de pared, como sigue:

| | | | | | | | |
|--------------------------|-----|------|------|------|-----|-------|-------|
| Relación $\frac{DE}{DI}$ | 1.1 | 1.15 | 1.2 | 1.25 | 1.3 | 1.35 | 1.4 |
| Máxima Ovalidad (%) | 3.5 | 5.25 | 7.25 | 9 | 11 | 12.75 | 14.75 |

En América, la máxima ovalidad admisible es del 8 %.

Cuando menor sea el espesor de pared, mayor tiende a ser la ovalidad.

7.2.- DEFECTOS.-

7.2.1.- ANTECEDENTES:-

Un defecto se define normalmente como la falta o ausencia de algo esencial para la integridad o perfección del metal. Los defectos pueden variar en los metales desde dislocaciones en el campo atómico, no observables incluso con los más potentes microscopios, hasta discontinuidades apreciables a simple vista.

Los defectos se consideran generalmente como una separación dentro de la estructura normal del metal. La palabra defecto es ampliamente utilizada. También se usa otra terminología para describir las condiciones defectuosas tales como inclusiones, falta de homogeneidad, grietas, discontinuidades estructurales, imperfecciones, etc. Sin embargo, en sentido universal, la palabra defecto puede también describir las desigualdades en la estructura metalúrgica o las deficiencias de proyecto.

7.2.2.- EVALUACION DE LOS DEFECTOS.

Debe admitirse que cada prueba específica, destructiva o no, valora un determinado material por comparación con otro probado bajo las mismas condiciones.

Un defecto puede ser la causa original de una grieta que a su vez dé lugar, por su propagación, a la rotura, si se presentan circunstancias favorables al realizar una prueba de cierta severidad. Sin embargo, el mismo defecto, localizado en el metal base o en una unión soldada de una recipiente, depósito o conducción tubular a presión, sujetas a condiciones de servicio extremadamente severas, puede ser totalmente inconsecuente. Por ejemplo; en una prueba de resistencia a la fatiga, las aguas originadas en el cordón de superficie de una soldadura pueden producir grietas capaces de originar la rotura. Sin embargo, aguas similares e incluso más acusadas jamás han originado roturas en cientos de miles de soldaduras realizadas sobre conducciones tubulares y tubos de calderas sometidos a las más elevadas presiones y temperaturas. Normalmente, las aguas de soldadura deben ser inspeccionadas de modo que su profundidad no sobrepase la rugosidad e irregularidad superficial aceptada generalmente para la chapa y material tubular.

Las pruebas convenientemente seleccionadas y cuidadosamente proyectadas proporcionan buenos resultados. Cuando se interpretan en forma correcta, los resultados de las pruebas pueden suministrar un mejor conocimiento de las causas que conducen a un determinado tipo de rotura y ayudar al desarrollo de las modificaciones de las especificaciones o de los procedimientos de elaboración, a fin de reducir futuras roturas que son consecuencia de un defecto determinado.

7.2.3.- CODIGO DE INTERPRETACION DE LOS DEFECTOS.-

La mayoría de los códigos o reglamentos aplicables a la fabricación de recipientes, depósitos y conducciones tubulares a presión, generalmente reconocen que los materiales perfectos no existen y permiten la presencia de algunos defectos estableciendo ciertas limitaciones sobre el tipo, tamaño, localización y distribución de los mismos.

Los requisitos establecidos en las especificaciones basados únicamente en el resultado de un pequeño número de pruebas de laboratorio, pueden dar lugar a conclusiones falsas y ser la causa de un gran número de roturas.

7.2.4.- INSPECCION DE LOS DEFECTOS.-

Las pruebas y técnicas de inspección desarrolladas con el fin de evaluar la perfección de la estructura fabricada, han contribuido de una manera eficaz a la utilización satisfactoria de los materiales de ingeniería bajo condiciones de servicio muy severas. Los nuevos equipos de comprobación e inspección pueden dar también a los ingenieros una mayor confianza en la seguridad de los sistemas de --- los cuales son responsables.

7.2.5.- DEFECTOS EN LOS PRODUCTOS LAMINADOS Y FORJADOS.-

Las roturas por defectos atribuibles al fabricante de origen normalmente son el resultado de una de las siguientes condiciones:

- 1.- DEFECTOS MECANICOS.
- 2.- DEFECTOS METALURGICOS.

Los defectos mecánicos encierran discontinuidades o separaciones reales en el material, ya sea a lo largo de la superficie o en el interior.

Los defectos que normalmente pueden presentarse son:

a) Laminaciones.- Las laminaciones se producen normalmente en el interior de los materiales de chapa o tubo y tienden a presentarse paralelamente a la superficie.

b) Pliegues.- Consiste en el laminado hacia el interior de la superficie de las partes salientes del metal que se produjeron en las pasadas previas, durante las siguientes pasadas, estos defectos aparecen paralelamente a la superficie del tubo.

c) Sojas.- Los defectos de soja consisten en roturas superficiales del metal, normalmente muy delgadas y laminadas sobre la superficie.

d) Costras.- Las costras representan escamas laminadas sobre la superficie.

e) HENDIDURAS.- Las hendiduras son el resultado de la fragilidad o acritud en caliente, poros o inclusiones que no se soldaron durante el laminado.

f) Capas descarburadas.- Las capas descarburadas representan penetraciones intergranulares de óxidos y cascarillas en la superficie del tubo, normalmente sobre la superficie interior.

g) Grietas.- En ocasiones, el agrietamiento se produce durante el proceso de laminado de la chapa o en el conformado del tubo.

Los defectos metalúrgicos corresponden a diferencias en las propiedades que son de una magnitud suficiente para llegar a convertirse en causas de rotura. Pueden producirse dentro de la propia sección del metal, donde el tratamiento térmico localizado produce una zona de elevada dureza próxima a una zona de menor dureza, algunos de defectos metalúrgicos son:

a) Fragilidad en caliente.- La fragilidad o acritud en caliente definida como fragilidad en metal caliente, se relaciona generalmente con las películas de impurezas y materias no metálicas que se encuentran presentes en las uniones intergranulares y, a ciertos niveles de temperatura, reducen considerablemente la tenacidad (ductilidad en caliente) del material.

La presencia de fases de bajo punto de fusión u otras películas frágiles de unión intergranular puede ser muy pequeña y únicamente detectable, con dificultad, por técnicas microscópicas.

7.2.6.- DEFECTOS DE FABRICACION.-

Los recipientes a presión y los sistemas tubulares normalmente se fabrican, sueldan e inspeccionan de acuerdo con los códigos establecidos. A pesar de su perfección aparente, se producen roturas y las pérdidas resultantes cuestan frecuentemente mucho más en producción que el recipiente a presión o componente tubular que se rompió. En una moderna central de vapor, la paralización de un día en una caldera puede suponer una pérdida bastante costosa. En instalaciones químicas y refinerías, la rotura de equipos fundamentales o componentes tubulares puede resultar incluso más costosa.

7.2.6.1.- EXPERIENCIA DEL FABRICANTE.-

Nunca se dirá lo suficiente sobre la importancia que tienen los conocimientos, experiencia y responsabilidad por parte del fabricante. Muchas de las roturas son el resultado directo de la falta de una o de todas estas cualidades. Son demasiados los fabricantes que hacen propuestas de construcción de recipientes a presión, depósitos y elementos tubulares para los cuales carecen de experiencia personal en soldadura, metalurgia, control de calidad e inspección. Es también esencial que el fabricante conozca ampliamente los correspondientes códigos y especificaciones, y esté familiarizado con los requisitos en servicio.

Los fabricantes, ingenieros consultores y compradores, participan por igual en la culpabilidad por el trabajo defectuoso que se produzca; el fabricante, por el ansia de expansión y excesiva rebaja de precio; los ingenieros consultores, por la falta de cuidado en la preparación de las especificaciones y los compradores, por la falta de estudio de las especificaciones, falta de apreciación de la calidad adecuada y conocimiento equivocado del coste.

7.3.- ROTURAS.-

7.3.1.- ANTECEDENTES:-

La rotura del material se define como la falta de ejecución o cumplimiento de las especificaciones y dá lugar al deterioro. Las roturas pueden también producirse en materiales casi perfectos, debido a causas externas, como un proyecto defectuoso, la corrosión o una utilización inapropiada del equipo en el que el material fué empleado.

Las condiciones de peligro en potencia pueden desafiar a algunos o todos los equipos de comprobación existentes y las técnicas empleadas. Estas condiciones de peligro existen ya en los recipientes, depósitos y tuberías a presión y quizás no puedan detectarse hasta que se produzca una rotura repentina.

7.3.2.- ROTURAS FRAGILES Y DUCTILES.-

La fragilidad es la propiedad del material que conduce a la propagación de grietas sin una deformación plástica apreciable. La tenacidad y la ductilidad son esencialmente contrarias a la fragilidad.

La tenacidad es la facultad que tiene un material para absorber la energía y la deformación plástica antes de producirse la fractura. Dado que representa el trabajo necesario para que se produzca la rotura, la tenacidad es una medida de la resistencia y de la ductilidad.

La ductilidad es la facultad que tiene un material para deformarse plásticamente sin que se produzca la rotura. Se mide generalmente en la prueba de tracción por alargamiento uniforme antes de la estricción, o por la reducción de la sección entre el comienzo de la estricción, y la fractura.

Generalmente, las roturas repentinas en tuberías y recipientes a presión son examinadas con verdadera inquietud. Normalmente están asociadas con la fragilidad (por entalla) de ciertos aceros dulces y de baja aleación. Las roturas debidas a la fragilidad (por entalla) están normalmente asociados con el trabajo a temperatura ambiente o bajo cero; sin embargo, también se han producido roturas repentinas a elevadas temperaturas. En algunos casos por ejemplo, las tuberías que conducen vapor, puede originarse también un desastroso accidente con pérdidas de vidas humanas. En estas roturas por fragilidad el propio metal se ha hecho quebradizo interiormente por los cambios metalúrgicos. La fatiga ha influido en la iniciación de la rotura en mayor grado que la temperatura.

La mayoría de las roturas se producen de forma dúctil. Estas comprenden la propagación gradual de grietas o la corrosión a través del espesor de la pared de los recipientes o tubos a presión.

La aparición de deformaciones y fugas por roturas dúctil sirven de aviso al personal de servicio. En tales circunstancias es posible, sin gran detrimento para el equipo, la reparación o sustitución, o la reparación provisional seguida de la sustitución de la sección averiada.

7.3.3.- CLASIFICACIONES DE LAS ROTURAS EN SERVICIO.-

Clasificaciones.- Aunque existen numerosas condiciones que pueden ser causa de roturas en servicio, la responsabilidad de una rotura puede asignarse generalmente a una de las cinco clasificaciones que damos a continuación:

- 1.- Proyecto (estructural, disposición de entallas, situación de uniones o configuración de los cordones de soldadura).
- 2.- Materiales (selección y manejo de los materiales base y de soldadura).
- 3.- Defectos del metal base (introducidos en el proceso de fabricación y trabajado de elementos de chapa o tubería tales como tubos, válvulas de fundición, accesorios fundidos o forjados, etc.)
- 4.- Montaje (montaje propiamente dicho, soldadura, tratamiento térmico, limpieza de recipientes a presión o tuberías durante el montaje en el taller o en obra).
- 5.- Servicio (condiciones de servicio extremadamente severas).

7.3.3.1.- ESFUERZOS Y FATIGA.-

7.3.3.1.1.- CAUSAS DE ROTURA.-

Los depósitos a presión, tanques y tuberías que han sido proyectados, construidos con buenos materiales, cuidadosamente fabricados y minuciosamente inspeccionados, normalmente no debían presentar roturas en servicio. Sin embargo, en algunos casos las condiciones de servicio son más severas o destructivas que las estimadas al hacer el proyecto y elegir los materiales.

Las roturas son debidas a que las condiciones de servicio, - en ocasiones, son más severas que las que el depósito, tanque o tubería podría resistir. Por si solas o agrupadas, existen muchas causas que pueden producir estas roturas. Las más corrientes son:

- 1.- Tensiones excesivas.
- 2.- Sobrepresión.
- 3.- Cargas externas.

- 4.- Fatigas y choques mecánicos.
- 5.- Fatigas y choques térmicos.
- 6.- Sobrecalentamiento.
- 7.- Fragilización por hidrógeno.
- 8.- Formación de porosidad por hidrógeno.

En algunos casos el depósito o tubería puede haber sido utilizado a temperaturas o presiones mayores de las consideradas al proyectarlos. Esto puede ocurrir a veces por indicaciones incorrectas de los aparatos de medida.

1) Esfuerzos o tensiones excesivos.-

Aunque un buen proyecto normalmente evita esfuerzos excesivos, un montaje inadecuado puede producir esfuerzos excesivos con el resultado de rotura en servicio. Como ejemplo sería el agrietamiento de $1/3$ del perímetro de una unión a solape entre tubería de acero $1/2$ Mo y brida. La rotura de la brida de 8" (203 mm) de diámetro en servicio a 850°F debida en primer lugar a la falta de acoplamiento de la misma. Esto produjo esfuerzos de tracción. La fatiga térmica causó desgaste entre la brida y la tubería, reduciendo el espesor.

2.- Sobrepresión.-

Las roturas causadas por sobrepresión se han presentado en algunos equipos químicos donde las reacciones no se desarrollaron como estaba previsto, resultando una elevación de presión. Aunque normalmente tales equipos están protegidos por válvulas de seguridad, éstas no funcionaron bien y se produjo la rotura. Bastantes corrientes son las roturas por helamiento del agua y otros líquidos en los sistemas de tuberías.

Las pruebas hidrostáticas de presión pueden ocasionalmente producir sobrepresiones y causar la rotura del depósito o tubería probado.

3.- Cargas Externas.-

Las cargas externas en depósitos, tanques y tuberías pueden producirse por soportes, ménsulas, ganchos y tetones. Las pasarelas, plataformas y escaleras pueden también transmitir cargas externas.

También se pueden producir por el movimiento o asentamiento de las cimentaciones. Las aberturas de dimensiones inadecuadas en muros de hormigón pueden causar cargas externas sobre depósitos y tuberías cuando se impide la expansión térmica normal de las tuberías conectadas al depósito.

4.- Fatiga y Choque Mecánico.-

Las fallas por fatiga mecánica se presentan cuando un elemento está sometido a esfuerzos de tensión o de flexión de modo alternado, o sea cuando el esfuerzo es variable. Las fracturas por fatiga son progresivas; empiezan como grietas diminutas que crecen por la acción de esfuerzos alternativos.

En depósitos y tuberías a presión, se puede producir fatiga mecánica por las siguientes condiciones individuales o por combinación de ellas.

- a) Variaciones de presión, se refiere a cambio en la presión interior.
- b) Variaciones de caudal, se refiere a caudales no uniformes que pasan a través de una válvula reductora de presión, golpes de ariete de agua o de vapor, cavitación por vapor de agua, etc.
- c) Variaciones del sistema, se refiere a variaciones producidas en un calderín o depósito a presión por las diferentes dilataciones de las tuberías conectadas.
- d) Factores externos, son las vibraciones producidas por componentes específicos tales como las causadas por un compresor, bomba o por la variación de la presión del aire o la presión del caudal en tuberías tendidas bajo el agua.

La fatiga límite es el máximo esfuerzo por debajo del cual un material puede soportar un número infinito de ciclos.

La Resistencia a la Fatiga de un material es el máximo esfuerzo que puede aguantar el material durante un cierto número de ciclos sin romper. Este esfuerzo es alternativo con cada ciclo.

El número de ciclos de fatiga que producen la rotura puede variar de muchos millones de ciclos a menos de un millón de ciclos. La rotura que aparece por debajo de este límite inferior se considera como choque mecánico.

La rotura por fatiga que ocurre con pocos ciclos (considerados arbitrariamente inferiores a 10,000 ciclos) se llama también fatiga a bajo ciclo.

En fatigas a bajo ciclos la magnitud y el periodo de aplicación de la carga son suficientemente grandes para producir deformación en el material. La histéresis correspondiente de los esfuerzos y deformaciones puede variar de un ciclo a otro. La causa de la rotu

ra es la disminución de la ductilidad debida a un endurecimiento por deformación y la formación y propagación de la grieta.

5.- Fatiga y Choque Térmicos.-

Fatiga térmica y choque térmico son términos usados para de notar los efectos de los cambios de temperatura o exposiciones alternativas a altas y bajas temperaturas, sobre la vida del material. Las diferencias entre fatiga térmica y choque térmico se refieren -- principalmente a los cambios de temperatura y a la severidad del gradiante de temperaturas. Así, cuando la vida en servicio es determinada por el número de ciclos térmicos, la rotura se dice que es debi da a fatiga térmica.

Sin embargo, cuando la severidad del gradiente de temperatura o el rápido cambio de temperatura es la causa principal de la rotura entonces se dice que es debida a choque térmico.

Que la rotura se deba a choque o fatiga térmicos dependerá del material. El mismo ciclo de temperatura puede tener un efecto de fatiga térmica en un material dúctil y un efecto de choque térmico en un material frágil.

6.- Sobrecalentamiento.-

El Sobrecalentamiento es una de las causas más serias de deterioro de Calderas. El sobrecalentamiento de las partes a presión puede resultar por el efecto aislante de grasas, escamas, lodos y -- otros depósitos sobre el lado de agua de la superficie de calenta--- miento.

Un elevado número de roturas en servicio ocurren por un sobrecalentamiento normalmente acompañado de deformación plástica. Estos casos se ha dado con mayor frecuencia en tuberías recalentadoras de centrales de vapor y en tuberías de alambiques de refinerías.

Cuando el sobrecalentamiento produce una deformación plástica gradual, el agrietamiento que a continuación se produce tiende a propagar entallas mecánicas y metalúrgicas.

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

La incrustación se atribuye al uso de aguas naturales con -- la ausencia de constituyentes favorables a la formación de lodos, bajo ciertas condiciones; las sustancias que normalmente forman lodos

se depositan en forma densa y adherente sobre las superficies.

La formación de incrustaciones es peligrosa, por el hecho de provocar sobrecalentamiento en el metal de la caldera, originando fallas.

La prevención de la incrustación se obtiene por lo tanto -- efectuando un tratamiento del agua, que puede ser antes de entrar o dentro de la caldera.

Los lodos generalmente compuestos son suaves y no adherentes formados por precipitación del agua de la Caldera, pero también se encuentran en suspensión en el agua. Al igual que la incrustación, la formación de lodos puede dar lugar a fallas por el sobrecalentamiento de superficies.

Entre las ocurrencias menos frecuentes pero no menos serias se encuentra el sobrecalentamiento causado por choques de flamas, alcanzando altas temperaturas en las superficies por el alto grado de transferencia de calor. El resultado puede ser oxidación de metal, deformación de las partes a presión y por último, la rotura de las partes con escape de vapor y agua.

El sobrecalentamiento, muchas veces es atribuido a la falta de circulación a través de los tubos de agua, parcial o totalmente obturados por lodo o partículas de escama desalojada.

El enfriamiento súbito de los tubos de la Caldera que se encuentra muy caliente, puede provocar falla de los mismos.

Un caso especial de sobrecalentamiento en el llamado "Quenching" (enfriamiento), que muchas veces afecta a los tubos verticales de las paredes de agua. Sobre ciertas condiciones de carga, un tubo puede tener un "Steam Bound" (Brinco de Vapor), suficiente para calentarlo localmente. Cuando la circulación se restablece, la porción caliente del tubo es enfriada por el agua relativamente fría, causando el enfriamiento la falla del tubo. La faja de vapor puede ser causada por el aislamiento de los depósitos de escoria sobre la salida de las partes bajas del tubo. Esto demuestra la importancia de evitar tan pronto como sea posible, el escoriamiento de las paredes de agua.

Durante el arranque, debe evitarse un calentamiento o esfuerzos excesivos sobre las juntas remachadas ó roladas y expansiones diferentes en las partes componentes de la Caldera.

El calentamiento no uniforme de la Caldera causará expansión

desigual, provocando distorsión en los tubos y aberturas de las coturas, especialmente cuando la circulación de agua es lenta como en el caso de las Calderas en que la combustión se realiza internamente

Las Calderas no deben vaciarse hasta que la presión se haya bajado por completo y las temperaturas en todas las partes de la Caldera sean aproximadamente uniformes, ya que de otra manera pueden tener contracciones desiguales y aparecerán fugas en los rolados de -- los tubos.

La acumulación de combustible no quemado, especialmente durante arranques, debe evitarse en los últimos pasos de la Caldera, - economizador y calentador de aire. La ignición de éste combustible puede causar sobrecalentamiento severo.

7.- Fragilidad y daños causados por Hidrógeno.-

Fragilidad por hidrógeno, significa una pérdida de ductilidad del acero por absorción de hidrógeno. La resistencia a la tracción apenas se reduce. El proceso es reversible y la ductilidad puede ser recuperada mediante tratamiento térmico.

Daños por hidrógeno, significa un debilitamiento permanente del acero debido a la aparición de microfisuras. El agrietamiento - producido por los daños del hidrógeno se presenta en los límites del grano.

El hidrógeno puede provenir de diferentes fuentes como: son el decapado, la electrodeposición, la descomposición del agua durante la soldadura, la reacción catódica en medio ácido, o simplemente porque el metal contenga hidrógeno bajo presión.

Se ha producido fragilidad por hidrógeno en los tubos de un gran número de Calderas y en equipos de refinerías, cuyo servicio se desarrollaba en un ambiente de hidrógeno caliente como ocurre en -- transformadores catalíticos. Estas roturas se producen generalmente entre 600 y 1000°F.

Progresión de la Rotura.-

Las roturas en tubos de Calderas producidas por el hidrógeno parecen seguir la siguiente secuencia:

- 1.- Corrosión localizada (Oxidación).
- 2.- Formación de una carga de óxido.
- 3.- Descarburación del acero de debajo de aquella capa.

4.- Microfisuración intergranular.

5.- Gran agrietamiento.

6.- Rotura.

La corrosión inicial generalmente va unida a la oxidación. Los responsables parecen ser el oxígeno combinado y disuelto (H_2O). Bajo ciertas condiciones de servicio, el oxígeno disuelto o combinado, probablemente pueda producir la oxidación localizada del acero.

La oxidación inicial, posiblemente consecuencia de un tratamiento térmico produce una capa delgada de óxido de hierro más o menos uniformemente repartida en el interior del tubo. Como esta capa es muy adherente impide mayor oxidación. Al aumentar su espesor la corrosión de oxidación llega a ser despreciable y se detiene. Incluso la mayor parte de las pequeñas picaduras de corrosión se estabilizan sin más ataque del acero; Puede ser que los decapados periódicos o las concentraciones de ácido, sal o sosa cáustica, desprendan la capa de óxido en alguna de las zonas afectadas por la corrosión. Cuando las picaduras se hacen más agudas, la cavidad de la superficie del metal quizás no pueda alojar el óxido de hierro que se forma a continuación, pues, por ser de pequeña densidad requiere más espacio que el existente. Por esta razón se agrieta la capa de óxido y vuelve a exponerse el metal a la oxidación. La fatiga térmica, las vibraciones o el decapado por ácido pueden soltar el óxido en zonas corroídas más extensas. Así, después que se ha formado en el interior del tubo una cavidad de dimensiones críticas, la velocidad de oxidación y acumulación de la capa de óxido pueden ser importantes.

Formación de Metano.-

Bajo ciertas condiciones, el acero dulce puede ser fragilizado por el hidrógeno, produciéndose daños permanentes. Las roturas de tubos de Calderas se asocian a la descarburación del carburo de hierro (Fe_3C) debido al hidrógeno y la formación de metano. El metano se forma según la reacción.



La reacción es reversible, dependiendo de la temperatura y presión existentes, aunque ninguna grieta puede ser eliminada en esta etapa.

Para cada temperatura y presión existe una cantidad específica de metano en equilibrio con una cantidad específica de hidróge-

no. A unos 875°F. existe equilibrio. A temperaturas inferiores la reacción tiende a la derecha y se forma metano, mientras que a temperaturas superiores tiende a la izquierda formando hidrógeno. Así, - estando en equilibrio, si la temperatura se eleva, el metano se descompone y produce hidrógeno que restaura el equilibrio. En los aceros la temperatura de inversión parece ser unos 200°F más alta debido a que no se obtiene el equilibrio termodinámico.

De una manera semejante a las roturas por grafitización, el carburo de hierro (Fe_3C) se descompone en granos perlíticos. Los átomos de carbono pueden entonces difundirse hacia los límites del grano. El hidrógeno en los límites del grano se combina con los átomos de carbono para formar metano que es incapaz de abandonar el acero. Al aumentar la presión del metano se produce una fisuración a lo largo de los límites del grano, causando daños graves.

Efecto del Tiempo y de la Temperatura.-

Mientras que la tendencia a la formación de metano aumenta con temperaturas bajas, la velocidad de difusión del carbono disminuye. Así, a una temperatura suficientemente baja, no se efectúa la reacción que produce descarburación.

Otro factor que complica los análisis es la variación de temperatura que existe desde que se enciende la Caldera hasta que se pone en régimen. Esto produce una variación en las diferentes reacciones y difusiones. Además, la fuerte capa de óxido dentro de las zonas corroídas en el interior del tubo complica el análisis.

La corrosión localizada es consecuencia de la liberación de oxígeno en la superficie del acero. Puede ser debido a la entrada de decapado ácido en la Caldera. (También puede ser debido al agua salada bombeada a través de los tubos de la Caldera). Como resultado de la corrosión, se forma una capa de Fe_3O_4 sobre las zonas corroídas. Mientras la capa de óxido sea relativamente delgada y pequeña no es posible una fragilización.

Sin embargo, cuando aumenta el espesor y tamaño de dicha capa, ésta comienza a actuar como aislante a la transmisión de calor, a través del espesor de los tubos de la Caldera. Esto tiende a aumentar la temperatura del acero en la zona oxidada. A cierto nivel de temperatura crítica las reacciones en el Acero con descarburación

y formación de metano llegan a ser importantes. Puesto que el gradiente de temperatura por debajo de la capa de óxido disminuye al acercarse a los bordes de dicha capa, se debería tener poca o ninguna fragilidad en los bordes de las zonas corroídas.

La temperatura necesaria para producir fragilidad importante variará probablemente y será algo más baja cuando el incremento de hidrógeno atómico se produzca en la superficie metálica. La inclusión de soluciones decapantes (o sal) por debajo de la fuerte capa de óxido aumenta el fenómeno de fragilización por hidrógeno. A causa de la descarburación que hasta la fecha parece haberse presentado en todos los casos de fragilización, se cree que la temperatura a la cual la difusión del carbono llega a ser importante y tiende a formar metano, es 600°F como límite inferior y 1000°F como límite superior. Aunque se han roto aceros al carbono en contacto con hidrógeno a una temperatura de 500°F, solamente en casos aislados se han registrado roturas en tubos de calderas por debajo de 600°F.

La influencia de la limpieza mediante ácidos no parece clara. Esta será beneficiosa cuando se quiten las fuertes capas de óxido. No obstante, al exponer la superficie limpia del acero a cualquier ataque bajo ciertas condiciones, aquella llega a ser susceptible a la oxidación. Se han presentado roturas frágiles por la acción del hidrógeno en tubos de Calderas decapadas frecuentemente. Se puede argüir que el decapado no eliminó la capa de óxido. El ácido atrapado entre la capa de óxido y la superficie del acero puede, de hecho, aumentar la formación de hidrógeno.

7.3.3.2.- CORROSION.-

7.3.3.2.1.- TIPOS DE CORROSION.-

Por definición, corrosión es la destrucción de un metal por reacciones químicas o electroquímicas con su medio ambiente. Se conocen muchos tipos de procesos de corrosión que pueden causar o contribuir a la rotura de depósitos, tanques y tuberías a presión.

Abundan roturas por corrosión cuando las condiciones en servicio llegan a ser más severas que lo que se esperaba al hacer el proyecto del depósito, tanque o tubería a presión y elegir los mate-

riales. El medio ambiente de un servicio puede llegar a ser más corrosivo cuando se producen variaciones en el medio químico o en las soluciones contenidas en el tanque o depósito, o conducidas por la tubería. Pueden surgir condiciones que reducen considerablemente la resistencia de los materiales a la corrosión.

La corrosión puede ocurrir sobre todas las superficies externas e internas de partes de Calderas, economizadores y precalentadores de aire. La extensión y razón de deterioro causadas por corrosión serán dependientes de la condición de agua de alimentación tipo y calidad del combustible y condiciones prevalecientes en el área.

La corrosión puede ocurrir sobre el lado de los gases hacia la chimenea, en tubos de economizadores y precalentadores de aire. La severidad de ésta corrosión depende de la relación de azufre en un combustible quemado. Cuando éste producto está presente en los gases de la chimenea, la corrosión puede llegar a ser severa.

Muchas roturas por corrosión no son de fácil clasificación pueden estar en juego varios procesos encadenados.

Los tipos más corrientes de roturas por corrosión asociadas con las condiciones de servicio son:

- 1.- Corrosión general.
- 2.- Corrosión galvánica.
- 3.- Corrosión por picaduras.
- 4.- Corrosión alveolar.
- 5.- Corrosión intergranular.
- 6.- Corrosión en filo de cuchillo.
- 7.- Corrosión en hendiduras.
- 8.- Corrosión selectiva.
- 9.- Corrosión por tensión.
- 10.- Agrietamiento por corrosión-esfuerzos y fatiga-corrosión.
- 11.- Corrosión aumentada por los esfuerzos.
- 12.- Erosión.
- 13.- Exfoliación.
- 14.- Corrosión por el terreno o el aislamiento.
- 15.- Capa de cascarilla y oxidación.
- 16.- Corrosión tipo Crater.

- 1.- Corrosión General.- Se caracteriza por un ataque rela

tivamente uniforme sobre la superficie del tanque o tubería. Puede ocurrir en todo el depósito, tanque o tubería o bien en una sección determinada, tal como el fondo de un tanque.

2.- 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, etc., metales diferentes. Puede también ocurrir en superficies chapeadas, o recubiertas o ciertos metales o pinturas aplicadas inadvertidamente o según indicaciones de proyecto

Un ejemplo de revestimiento metálico inesperado lo constituyó el revestimiento de cobre en el interior de una tubería de acero. Una macrografía de la cavidad producida por corrosión confirmó que se había depositado una capa de cobre en el interior de la tubería y que el acero sufrió corrosión por acción galvánica. El agua de alimentación de la caldera su paso por intercambiadores de calor y otros equipos que contenían tubos de cobre o aleaciones de cobre, recogió fácilmente cobre soluble y óxido de cobre. El oxígeno disuelto, bióxido de carbono y posiblemente bióxido de azufre, son elementos que convierten el cobre en forma soluble. Bajo ligeras concentraciones de pH ácido, el cobre tiende a recubrir una superficie de acero.

Durante el decapado químico, los óxidos de hierro como FeO , Fe_2O_3 y Fe_3O_4 que se encuentran adheridos a la superficie del acero, son eliminados formándose Cl_2Fe y $FeCl_3$. Cuando hay cobre soluble, éste tiende a desplazar al hierro en el cloruro Cl_3Fe , formando la sal de cobre soluble. Esta disolución tiende a un equilibrio en favor de la reducción de hierro férrico a hierro ferroso, formándose cobre metálico.

Si las sales de cobre no son eliminadas antes del decapado del acero, la superficie de éste puede ser recubierta por una capa de cobre durante la acción del ácido decapante. Aunque puede emplearse después a un tratamiento adecuado, del agua de calderas para evitar más deposiciones de cobre, la capa ya depositada si es suficientemente grande y continua puede promover la corrosión galvánica.

Es posible, naturalmente, que el recubrimiento de cobre se produjese durante una de las limpiezas de la caldera cuando los ácidos y reacciones no estaban en equilibrio, dando lugar a una excesiva formación de sales de cobre susceptibles de despegarse. El problema

de la deposición de cobre en tuberías y tubos de calderas se presta a controversia. En tubos de calderas, es normal observar depósitos de cobre sobre el óxido de hierro en forma de pequeñas partículas. - Esto no ha causado daños en ambientes de alto pH, excepto que se reducía ligeramente la transmisión de calor.

3.- Corrosión por picadura.- Los picados, a diferencia de la corrosión uniforme, se presentan en una superficie mínima de material pero penetran profundamente. Las picaduras se presentan en varios ambientes; el caso más común y más grave es en soluciones que contienen cloruros. El picado en su caso extremo atraviesa el espesor del metal dejando las superficies en aparente buen estado.

4.- Corrosión Alveolar.- Este tipo de corrosión, que se presenta en forma de picaduras, se da con mucha frecuencia en metales férricos y no férricos.

También se describe como corrosión por concentración de pilas pues resulta de la existencia de potenciales electroquímicos diferentes fuera y dentro de las picaduras, por una diferencia en la concentración de oxígeno. Las picaduras con falta de oxígeno, actúan como ánodo y el material no atacado, como cátodo. Hay más posibilidades de que se produzca este ataque en períodos de paro, cuando se puede producir una oxidación en atmósfera quieta.

5.- Corrosión Intergranular.- Este fenómeno se presenta en los aceros inoxidable austeníticos (AISI-304, 309, 310, 316 y 317 cuando se han precipitado carburos de cromo en los contornos de los granos, debido a una composición química deficiente, tratamiento térmicos inadecuados, o procedimientos de soldadura incorrectos; ocurre a temperaturas de 900 a 1500°F.

6.- Corrosión en filo de cuchillo.- Este tipo de corrosión se presenta en la zona comprendida entre el metal base y el de soldadura.

La corrosión en filo de cuchillo se presenta la mayoría de las veces en aceros inoxidable austeníticos, particularmente en aquellos tipos que contienen molibdeno. Se asocia este tipo de ataque a una formación de carburos a temperatura próxima a la de fusión o a la presencia de fases de bajo punto de fusión en el metal base adyacente a la soldadura, produciéndose corrosión galvánica localizada.

7.- Corrosión en Hendiduras.- Es una corrosión de contacto. A menudo ocurre por contacto entre materiales no metálicos y metales pasivos. El corrosivo en la hendidura normalmente elimina algún constituyente de la película protectora, como por ejemplo, oxígeno. Cuando se rompe la capa protectora, empieza la corrosión.

8.- Corrosión Selectiva.- Este fenómeno se presenta cuando el metal sometido a la acción corrosiva está compuesto por diferentes fases. Uno de los casos clásicos de éste fenómeno es la corrosión selectiva del acero inoxidable AISI-316L en carbonato de amonio donde la austenita queda intacta y se corroe la ferrita y la fase -- sigma.

9.- Corrosión por Tensión.- El 30 a 40% de las fallas de la industria química se deben a este fenómeno que se presenta en varios tipos de aleaciones, como fierro, cobre, aluminio, etc., en diferentes ambientes. En los aceros inoxidables austeníticos AISI(304, 316, etc.), este fenómeno se puede presentar en soluciones neutras - con contenidos de cloruros superiores a 80 ppm y con temperaturas de 70°C.

10. y 11.- Agrietamiento debido a corrosión por esfuerzos. Este tipo de corrosión es el resultado del efecto combinado entre corrosión y esfuerzos de tracción. Allí donde esto ocurre, la corrosión sola no habría producido rotura por agrietamiento. Del mismo modo, si no hubiera existido corrosión, los esfuerzos no habrían producido rotura. Concretamente el agrietamiento por tensocorrosión es el resultado de la corrosión y esfuerzos de tracción estáticos. Cuando se trata de esfuerzos cíclicos, el proceso se describe como corrosión fatiga.

El agrietamiento por esfuerzos por corrosión, como otras roturas, se inicia en puntos donde existe mayor nivel de esfuerzos y - la estructura metalúrgica es más débil.

10-a.- Fragilidad cáustica.- Otro tipo de esfuerzos por - corrosión es el conocido por fragilidad cáustica. Específicamente, - se refiere al agrietamiento de un metal sometido a esfuerzos o en -- contacto con una solución alcalina; por lo general se presenta en -- aceros de bajo contenido de carbono en presencia de sosa cáustica. Este efecto de corrosión se puede presentar en calderas cuando una - fuga mínima entre un tubo y su barrenado permiten la evaporación del - agua y consecuentemente la concentración de productos cáusticos.

La sosa cáustica es usada con frecuencia en depósitos a presión y otros equipos para neutralizar las superficies que estuvieron expuestas a la acción de algún ácido. En algunos procesos de refinerías, la sosa cáustica se utiliza como un disolvente y también en la fabricación de algunas grasas.

A temperaturas superiores a los 150° F, los aceros al carbono y de baja aleación llegan a ser muy susceptibles al agrietamiento por esfuerzos por corrosión debido a la sosa cáustica.

El calor acelera el ataque; son especialmente susceptibles los puntos calientes como, por ejemplo; los puntos por donde los serpentines de vapor u otras tuberías calientes entran en un depósito.

10-b.- Tensocorrosión por Oxidación.- Otro tipo de esfuerzos por corrosión se debe a la presencia de oxígeno. Se han registrado casos especiales en tubos de calderas que conducen agua de alimentación. Por la presencia de esfuerzos de tracción, generalmente se producen agrietamiento intergranular. Las grietas se agrandan por corrosión alveolar.

10-c.- Fatiga por corrosión.- En fatiga por corrosión, los esfuerzos que contribuyen a la rotura se asocian a cargas de fatiga mecánica externas. En fatiga por corrosión, la corrosión rebaja el límite de resistencia del acero (asociado con la rugosidad de la superficie y en casos severos, formación de defectos), y la fatiga acelera el ataque.

10-d.- Servicio a elevada temperatura.- A temperaturas elevadas, la fatiga por corrosión es generalmente acrecentada por oxidación. La rotura se produce por la formación de óxido y fatiga.

El agrietamiento por fatiga por corrosión como consecuencia de un súbito arranque en frío se ha producido en tubos curvados de elevación y descenso (entrada y salida) de calderas cuando el agua contenía un ligero exceso de oxígeno.

La susceptibilidad de los tubos de bajada doblados en frío a la fatiga por corrosión, depende de las condiciones de servicio. Allí donde la fatiga y los esfuerzos produzcan la rotura de la capa de óxido protectora en el interior del tubo, ocurrirá la rotura de éste. En tales casos, deberían utilizarse tubos doblados en ca-

liente o doblados en frío pero con un tratamiento de eliminación de tensiones.

La susceptibilidad a estas roturas aumenta también con la ovalización del tubo. Se han producido roturas en tubos de 2.3/4" (70 mm) de diámetro y 0.18" (4.5 mm) de espesor, principalmente el eje neutro de los tubos curvados en frío utilizados en la bajada — del agua de calderas, después de 32 500 horas de servicio. Los tubos presentaban ovalizaciones del 12% que producían altos esfuerzos a lo largo del eje neutro.

Los cálculos demostraron que dichos esfuerzos eran mpas de dos veces el límite de fluencia del material. Así, durante cada pa rada de la caldera, se destruía la cascarilla protectora del inte— rior del tubo.

10-e.- Remedios.— Los remedios para evitar el agrietamien to por esfuerzos por corrosión y fatiga por corrosión son:

- 1) Empleo de materiales de composición tal que no sean -- susceptibles al agrietamiento en el medio ambiente co— rrespondiente.
- 2) Cambio de la composición química del agua para reducir los elementos que promueven el agrietamiento por es— fuerzos por corrosión.
- 3) Adecuada colocación de puntos de anclaje, ganchos y so portes para reducir los esfuerzos de tracción.
- 4) Reducción de vibraciones mecánicas y condiciones de — servicio que producen fatigas.
- 5) Eliminación de tensiones de las juntas soldadas o mate riales trabajando en frío, que consiste en un lento ca lentamiento y enfriamiento uniformemente alrededor de la soldadura.
- 6) Cambios en las condiciones operatorias que se comprobó habían producido agrietamiento durante operaciones cí— clicas o períodos de paro y arranque.

12.- Erosión.— Significa la destrucción de un metal por la acción de un líquido o vapor. La presencia de partículas sóli— das

de materiales en suspensión o líquidos arrastrados en vapor, puede - acelerar este tipo de ataque. Además, la erosión es con frecuencia - aumentada por la corrosión. La erosión se presenta normalmente en zonas donde disminuye la sección de paso o existe cambio de dirección. Cuando la erosión es consecuencia de la formación y colapso de cavidades en un líquido en la superficie de contacto entre sólido y líquido el ataque corrosivo se conoce también como cavitación.

Un cambio en las condiciones de servicio que elimine la aparición de cavitación, es el remedio más efectivo contra la erosión. El vapor húmedo es también una causa frecuente de erosión.

La erosión puede ser la causa de un rápido deterioro, debido a choques de partículas de ceniza ó una cortadura de metal por vapor o derrame de agua en juntas remachadas o juntas expansionadas en un tubo.

La erosión rápida de los tubos de agua puede ser causada - por desalineamiento de vapor en los elementos del soplador de hollín, en estos el vapor lanzado tropieza con los tubos.

Los sopladores de hollín a base de vapor deberán alimentarse con vapor prácticamente seco y deberán purgarse completamente antes de usarlos, teniendo el cuidado de evitar que los chorros de vapor incidan directamente sobre los tubos y placas de tubos así como - sobre las mamparas.

La erosión puede también proceder rápidamente cuando es combinada por la corrosión. La acción de erosión desprenderá el producto de la corrosión fácilmente. La superficie erosionada es más susceptible a la corrosión que una superficie protegida por productos de corrosión.

13.- Exfoliación.- Es un tipo de corrosión que progresa paralelamente a la superficie metálica. Los productos de la corrosión se presentan en forma de gruesas láminas de óxido que se desprenden - de la superficie. Se ha producido exfoliación en aleaciones de - Cu-Ni 70-30, 80-20 e incluso 90-10. Se presenta normalmente en cambiadores de calor, tales como calentadores de agua de alimentación a alta presión en centrales de vapor. Cuando la caldera está sometida a funcionamiento a plena carga, carga reducida e incluso períodos de paro, no se mantiene la eliminación normal del oxígeno.

El oxígeno entra en el sistema por infiltración y queda retenido, - alcanzando concentraciones considerables hasta que el sistema vuelve a sus condiciones normales. Durante paros o funcionamiento a poca carga el vapor se condensa y se crea un vacío. Aunque se considera que el oxígeno es el mayor causante de la exfoliación, también pueden producirla el amoníaco y anhídrido carbónico.

14.- Corrosión producida por aislamiento.- Los aislamientos empleados en tuberías pueden contener componentes que bajo ciertas condiciones pueden contribuir al ataque corrosivo. Por ejemplo el agua del aislamiento, conteniendo cloruros y fluoruros, puede enviar éstos al metal de la tubería produciendo corrosión.

16.- Corrosión tipo cráter.- Otra clase de ataque en tubos de calderas es conocido como corrosión tipo cráter. Se presenta en la cara del tubo que está en contacto con el agua y se achaca a alcalinidad hidróxida. Los cráter generalmente tienden a aparecer - aguas abajo del elemento que perturba la circulación en la tubería.

7.4.- FALLAS EN DOMOS.-

El domo de la Caldera es la pieza más costosa indudablemente. Está fabricado con placas de acero o dobladas y unidas por soldadura, la cual se inspeccionará que no tenga poros y que la técnica empleada sea adecuada así como también la soldadura que se empleó y el maquinado en general. Las placas de un espesor de más de 51 mm. (2") son normalizadas para:

- 1.- Refinar el grano del metal.
- 2.- Obtener uniformidad en la estructura del metal.
- 3.- Mejorar sus propiedades físicas.
- 4.- Permitir su formación en caliente.

Esta consiste en calentar la placa en un horno a una temperatura de 870 - 898°C si es acero al carbón y a 937 - 953°C para aceros al carbón-molibdeno. Las placas se mantienen a temperatura durante 45 minutos por cada 25 mm. (1") de grueso. Al sacarlas del horno son formadas rápidamente a su contorno aproximado en una prensa o en una roladora. Cuando la temperatura de la placa ha bajado a unos 538°C es regresada al horno y tratada a unos 649°C para el alivio de tensiones, siendo enfriada en el propio horno hasta una temperatura de 316°C, después de lo cual se enfría a la temperatura normal del local al aire libre.

La placa así doblada en bruto es regresada a la prensa para las operaciones del acabado final.

El domo de vapor cuenta con un sistema de purificadores de vapor, evitando de esta manera el arrastre de humedad. El agua de alimentación es dispersada del mismo domo por un difusor, evitando el golpe de agua y no producir fluctuaciones indeseables en el -

En el domo de vapor para evitar daños por sobrepresión, se cuenta con cuatro válvulas de seguridad capaces de desalojar el exceso de vapor.

En éste mismo domo se cuenta con dos líneas de venteo - útiles para llenado, vaciado y puesta en operación de la Caldera.

El domo de lodos es en el que se depositan los sólidos - que son expulsados mediante dos líneas de purga.

Ambos domos están provistos de registros de hombre, útiles para la inspección, limpieza y reparación de ellos.

Algunas fallas de los Domos de vapor y de lodos son ocasionadas por los residuos o consecuencias atribuibles a la acción de los productos del tratamiento de agua, productos químicos disolventes de incrustación, aceites, grasas y otras sustancias que puedan haber sido introducidas intencionalmente o de alguna otra manera junto con el agua de alimentación.

El material refractario se revisa para localizar cuarteaduras, asentamientos y tabiques flojos, que quedan recargados contra las paredes de la Caldera; las paredes del altar son inspeccionadas para tener la seguridad de que el Domo de lodos esté debidamente protegido.

La ruptura de un Domo o de un casco de Caldera, ocasionada por presión de agua, es diferente a la ruptura ocasionada por aire a presión. Una ruptura ocasionada por el agua, alivia la presión casi instantáneamente, permaneciendo pequeña la ruptura. En cambio, la ruptura causada por un medio gaseoso a presión, no disminuye la presión, sino cuando ha escapado un considerable volumen del gas. Como consecuencia de que la presión permanece alta, tiende a desgarrar la abertura, convirtiéndola en un boquete grande - que abarca, generalmente la longitud total del Domo.

de la inspección radiográfica sea de una importancia tal que se ha aceptado como factor esencial para el control de las uniones soldadas por el Instituto Internacional de la Soldadura, ASME, British Standard Institution y otras organizaciones, las cuales han confeccionado códigos en los que se establece la técnica operatoria a seguir, así como las correspondientes normas de aceptación de las uniones inspeccionadas.

Cuando se ha observado un defecto, la radiografía permite su localización y determinar su importancia. En el caso de ser necesaria su reparación es siempre posible hacer un nuevo examen para comprobar la calidad de la misma.

Los defectos más frecuentes en las uniones soldadas son:

a) Porosidad.- Cavidades producidas por inclusiones gaseosas que pueden presentarse dispersas y de pequeño tamaño o aparecer concentradas, generalmente hacia el centro del cordón de soldadura, dando lugar a cavidades de mayor tamaño.

Su imagen radiográfica suele ser redondeada, ya que las inclusiones gaseosas tienden a ocupar el menor volumen y adoptar la forma esférica.

b) Inclusiones de escoria.- Están formadas por escoria u otras materias extrañas aprisionadas durante el proceso de soldadura. Suelen presentarse con más frecuencia en las uniones efectuadas por pasadas múltiples.

Las inclusiones de escoria aparecen en la radiografía como manchas oscuras de contorno irregular, perfectamente diferenciables de la imagen redondeada producida por la porosidad.

c) Falta de fusión.- Defecto en dos dimensiones, debido a una falta de unión entre el metal base y el de aportación.

La imagen de la falta de fusión suele aparecer en la radiografía como una línea oscura y fina con bordes muy definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa, según sea la orientación del defecto respecto a la dirección de la radiación.

d) Falta de Penetración.- Es, en realidad, una falta de fusión en la raíz de la soldadura, debida a que el metal aportado no ha rellenado la raíz.

En la radiografía aparece como una línea oscura, continua o no, localizada en el centro del cordón de soldadura.

e) GRIETAS.- Las grietas son discontinuidades producidas por rotura en el metal como resultado de tensiones producidas en el mismo durante la soldadura, siendo visibles en la radiografía si el haz de la radiación incide sobre la pieza con una dirección sensiblemente paralela a la superficie de la grieta.

Las grietas o fisuras, cuya imagen radiográfica son líneas finas oscuras, se pueden diferenciar de la falta de fusión o penetración porque las grietas dan lugar, generalmente, a una línea ondulada. Cuando se radiografian fuertes espesores, las grietas finas pueden o no ser detectadas en la radiografía.

f) Mordedura de bordes.- Se presenta como una ranura o garganta en la superficie de la pieza a lo largo del borde del cordón de soldadura.

En la radiografía aparece como una línea oscura limitando la imagen del cordón de soldadura.

Se ha de tener presente que los casos encontrados en la práctica, rara vez son tan claros como aparecen en los ejemplos. La explicación de un defecto y de su posible imagen radiográfica se deduce mediante una larga experiencia y conocimiento de las técnicas operatorias. En consecuencia se ha de tener presente, que cualquier esfuerzo encaminado a expresar el resultado mediante una simple operación matemática, es a menudo, imposible e incluso aventurado.

La detección de un defecto por medio de la radiografía depende de:

- 1.-La orientación del defecto, con respecto al haz de radiación.
- 2.-Espesor total de la pieza.
- 3.-Situación de los defectos en la pieza.
- 4.-Técnica radiográfica.

7.5.- RADIOGRAFIAS.

Una manera de controlar la calidad de los materiales base y ensambladuras soldadas es por medio de pruebas no destructivas. Existen cuatro pruebas básicas que se utilizan en la industria de recipientes a presión: La Radiografía, Pruebas ultrasónicas, Pruebas de partículas magnéticas y la prueba de líquidos penetrantes. Las dos primeras se usan para el examen volumétrico y las dos siguientes para el examen de superficie.

7.5.1.- INTRODUCCION.

La radiología industrial estudia la teoría y aplicación de los rayos X y Gamma, fundamentalmente en cuanto se relaciona con la obtención de la radiografía, entendiéndose como tal la imagen fotográfica producida por un haz de cualquiera de estas radiaciones ionizantes, y que tiene por finalidad, basándose en la propiedad de las mismas de atravesar los materiales opacos a la luz y de ser absorbidos en mayor o menor proporción según la naturaleza y el espesor de los materiales atravesados, obtener una imagen lo más nítida y fiel de las proyecciones de los defectos que puedan existir en la pieza examinada.

La imagen radiográfica se produce como consecuencia de la propiedad de estas radiaciones, de impresionar una emulsión fotográfica y de la distribución variable de la intensidad de la radiación que emerge de la pieza radiografiada, debida principalmente, a las diferencias de espesor o a la presencia de sustancias extrañas al material que la constituye.

Si bien en un principio el método radiográfico presentaba ciertas limitaciones por dificultades de emplazamiento de los equipos o falta de material de espacio para su instalación, esto no es un inconveniente que en la mayoría de los casos impida la inspección radiográfica, gracias a la posibilidad actual de disponer de fuentes radiactivas que permiten realizar la inspección.

Todo esto, unido a la gran ventaja que presenta el método radiográfico sobre todos los ensayos no destructivos de proporcionar nos documentos permanentes del examen realizado, hace que el valor -

7.5.2.- NATURALEZA Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LAS RADIACIONES X Y GAMA.

Los rayos X y Gama son radiaciones electromagnéticas cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 10^{-8} y 10^{-7} cm.

Los rayos X se producen cuando un haz de electrones animados de gran velocidad, y por tanto con una gran energía, chocan contra un obstáculo material cualquiera; siendo este obstáculo, en el caso de los tubos de Rayos X, el metal que constituye el anticátodo. Los Rayos Gama son emitidos por el núcleo de los elementos radiactivos, ambas radiaciones son invisibles y se desplazan en línea recta con la velocidad de la luz ($c = 2.998 \times 10^{10}$ cm/s).

La diferencia esencial entre la luz, las radiaciones ultravioletas, infrarojos, ondas de radio, Rayos X y Gama es solamente su longitud de onda o su frecuencia.

Ambas radiaciones tienen la propiedad de atravesar aquellos materiales que son opacos a la luz, y ejercer una acción sobre las emulsiones fotográficas muy parecida a la de la luz. Estas radiaciones atraviesan la materia tanto más fácilmente cuanto menos densa es ésta, dependiendo su poder de penetración de su longitud de onda.

De acuerdo con la teoría cuántica, propuesta por Planck, las radiaciones electromagnéticas no son radiadas de una forma continua, como tiene lugar en el caso de ondas puras, sino en forma de pequeños "paquetes" o "cuantas", cuya energía viene dada por:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

expresión en la que h es la constante de Planck, cuyo valor es $h = 6.624 \times 10^{-28}$ erg/s. y ν la frecuencia de la radiación.

El "cuanta" es la menor cantidad de energía asociada con cualquier fenómeno dado. Con frecuencia es más conveniente considerar la radiación electromagnética como corpuscular que como ondas en movimiento, en cuyo caso debemos emplear el término fotón en lugar de el de cuanta.

7.5.2.1.- RAYOS X.

El tubo de radiación, o tubo de Rayos X, está constituido esencialmente por una ampolla de vidrio en cuyo interior se colocan el filamento (cátodo) y el anticátodo, y de la cual se ha extraído aire hasta alcanzar un grado de vacío del orden de 0,01 a 0.001 mm/Hg.

El filamento está formado por un hilo, generalmente de Wolframio, el cual, llevado a una temperatura suficiente, emite electrones (emisión termoiónica). La cantidad de electrones emitidos depende de la temperatura alcanzada por el filamento, temperatura que puede ser regulada variando la intensidad de la corriente de alimentación de este filamento. Este haz de electrones que se origina en el filamento, y que va desde éste al anticátodo, crea un paso de corriente cuya intensidad se mide en miliamperios (mA). De este valor de la intensidad depende la intensidad de la radiación emitida por el tubo, ya que ésta, a su vez, es función del flujo de electrones.

En los tubos modernos, el filamento va alojado en un receptáculo de sección adecuada que sirve para concentrar el flujo de electrones y obligar a éstos para que incidan en una zona determinada del anticátodo, zona que recibe el nombre de "mancha focal". Este filamento está conectado al polo negativo del circuito de alta tensión. La corriente necesaria para la calefacción del filamento proviene de un transformador reductor normal, pero con su secundario convenientemente aislado para la alta tensión.

El anticátodo está constituido por un bloque de un metal-buen conductor del calor, generalmente cobre, en el cual se dispone adecuadamente una placa de metal de alto punto de fusión, de forma variable y con una inclinación de 20 a 30 ° con respecto a la dirección del eje del haz de electrones que proviene del cátodo. El metal que forma esta placa suele ser Wolframio, el cual constituye el verdadero anticátodo, y para ello va conectado al polo positivo del circuito de alta tensión.

El tubo de Rayos X que se ha descrito pertenece al tipo de tubos Coolidge que son los más frecuentemente usados en radiografía industrial.

En un tubo de Rayos X, la energía cinética de un electrón que parte de la superficie del cátodo con una velocidad cero, alcanza en el momento de chocar contra el anticátodo, cuando entre ánodo y cátodo existe una diferencia de potencial de V voltios; un valor que viene dado por la expresión: $\frac{1}{2} mv^2 = eV$ donde m es la masa del electrón ($m = 9.11 \times 10^{-28}$ gr), e su carga ($e = 4.8 \times 10^{-10}$ u.e.s.) y v la velocidad alcanzada bajo la tensión de excitación V .

7.5.2.2. RAYOS GAMA.

La desintegración del núcleo de una sustancia radiactiva natural va acompañada de la emisión de una o más formas de radiación que se denominan rayos alfa, beta y gama. La radiación gama es una radiación electromagnética de la misma naturaleza física que los Rayos X, presentando en general, menores longitudes de onda que éstos. Los rayos alfa son núcleos de helio, en los cuales, aunque poseen una gran energía cinética, su poder de penetración es pequeño.

Los rayos beta son electrones y al igual que la radiación alfa su poder de penetración es muy bajo.

La transformación de una sustancia radiactiva es un fenómeno absolutamente independiente de toda acción exterior, no puede ser acelerado o detenido por ningún agente físico (alta temperatura campo magnético o eléctrico, etc.). Su radiactividad no es constante, disminuye con arreglo a una ley exponencial.

7.5.2.3. UNIDADES.

La longitud de onda de las radiaciones ionizantes puede ser expresada en centímetros, sin embargo es más frecuente emplear la "unidad angström," (Å), siendo $1 \text{ Å} = 10^{-8}$ cm la "unidad x" que se utiliza a veces para medir longitudes de onda, tiene el siguiente valor: 1×1.10^{-11} centímetros.

La energía de los rayos X se expresa en función de la energía de los electrones que producen la radiación se mide en "electrón voltios" (eV), entendiéndose como tal la energía adquirida por un electrón cuando se mueve en un campo bajo una diferencia

de potencial de un voltio. Su valor es $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$. Esta unidad corresponde a la "calidad de la radiación". Análogamente, la energía de la radiación gamma se expresa en kiloelectrón voltios o megaelectrón voltios, aunque el electrón no haya intervenido en su generación. En radiografía industrial para caracterizar una radiación se suele hacer en términos de fijar su energía y no su longitud de onda.

La "cantidad de radiación" se mide en "roentgens". El roentgen es la unidad de dosis de exposición, definida internacionalmente como la radiación de cantidad X o gamma que produce en 0.001293 g. de aire, en condiciones normales, iones con una 1 u.e.e. de cantidad de electricidad de cualquier signo. La dosis absorbida por una unidad de masa irradiada puede ser medida en ergios por gramo; la unidad convencional para medir esta dosis es el "rad", siendo $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$.

Por lo que a la calidad de las radiaciones X y gamma se refiere, es frecuente utilizar los términos de "radiación blanda" y "radiación dura", La radiación blanda es aquella cuya longitud de onda es grande, y su poder de penetración pequeño, y dura la que presenta un poder de penetración grande y pequeña longitud de onda.

El "curio" (Ci) es una unidad de radiactividad definida por acuerdo internacional como la cantidad de un núclido cualquiera que se desintegra a razón de 3.7×10^{10} átomos por segundo. La fuerza o potencia de un isótopo radiactivo se expresa corrientemente en curios; sin embargo, en los trabajos radiográficos es frecuente utilizar otra unidad que mide la potencia de emisión en roentgen por hora a un metro de distancia (r h m) y que se designa "factor K" correspondiendo a cada isótopo un factor K determinado

7.5.3.- CALCULO DE LA EXPOSICION.

7.5.3.1.-VARIABLES QUE INTERVIENEN.

El número de variables de las que depende la calidad de una radiografía es considerable. Todas y cada una de ellas ejercen su influencia, a veces con carácter decisivo, razón por la cual se hace necesario considerarlas aisladamente y en conjunto para poder fijarlas con precisión y controlarlas con exactitud si se quiere mantener

el nivel de calidad que todo trabajo de inspección radiográfica requiere. Estas variables de las que depende la calidad radiográfica son las siguientes:

- A.-Equipo emisor de la radiación.
- B.-Calidad de la radiación.
- C.-Cantidad de radiación.
- D.-Material que constituye el objeto radiografiado.
- E.-Tiempo de Exposición.
- F.-Pantallas reforzadoras.
- G.-Filtración de la radiación.
- H.-Distancia fuente o foco - película.
- I.-Película radiográfica.
- J.-Condiciones de revelado (tipo, tiempo y temperatura).

A.-Equipo emisor de la radiación.

En los equipos de rayos X se produce una filtración de la radiación al atravesar ésta la ventana del tubo y el baño de aceite aislante en que éste se encuentra.

Esta filtración afecta a la intensidad y calidad de la radiación. - Por otra parte, el circuito eléctrico de alimentación del tubo tam bién ejerce su influencia sobre la intensidad y longitud de onda de la radiación producida.

Consecuencia de todo ello es que, para los mismos valores de la tensión de excitación y de la corriente que circula por el tu bo, el efecto radiográfico puede variar de un equipo a otro. Sin embargo, y para los efectos prácticos, las condiciones de exposi--- ción son reproducibles para un determinado equipo de rayos X.

B.-Calidad de la radiación.

Cuando se obtiene una radiografía utilizando la menor - tensión de excitación posible, se alcanzan las mayores diferencias- de densidad fotográfica para los cambios de sección existentes en - el objeto radiografiado y, en su consecuencia, la radiografía así - obtenida presentará un elevado contraste.

Los cambios en la tensión de excitación modifican la cali- dad de la radiación que actúa sobre la película. Si se aumenta la-

tensión de radiación, se hace más dura o penetrante y, al contrario la radiación tiende a ser más blanda y menos penetrante cuando disminuye la tensión.

Es, por tanto, de la mayor importancia que la tensión sea regulada con la mayor exactitud posible.

C.-Cantidad de radiación.

La cantidad de radiación que actúa sobre la película, cuando se radiografía un objeto con una determinada calidad de radiación, depende de tres factores:

- a) intensidad de la corriente que circula por el tubo de rayos X o la actividad de la fuente en el caso de radiación gama.
- b) Tiempo de exposición.
- c) Distancia foco o fuente película.

Las relaciones numéricas entre estas tres cantidades son las mismas para cualquiera de las radiaciones X o Gama que se utilizan, no siendo preciso más que cambiar el número de miliamperios por el de milicurios o curios.

D.-Material que constituye el objeto radiografiado .

Si en la radiografía industrial se utilizase radiación monocromática (radiación con una sola longitud de onda) y no se produjese radiación difusa, las leyes de la absorción de la radiación por la materia que constituye el objeto radiografiado se podrían establecer con exactitud. Esto no es posible, ya que, en la práctica la radiación utilizada contiene una gama más o menos amplia de longitudes de onda y, además, se produce siempre una cierta cantidad de radiación difusa.

La absorción de la radiación por un objeto depende sobre todo de su espesor y de su densidad, así como del número atómico de los elementos en él presentes. Es evidente, que en dos objetos del mismo material, el más grueso absorberá más radiación que el más fino, lo que hará preciso utilizar una radiación más penetrante para conseguir el mismo efecto radiográfico.

E.-Tiempo de exposición.

Las películas empleadas en la radiografía industrial poseen una latitud que permite cierta variación en el tiempo de exposición, sin que su efecto dé lugar a diferencias notables en la densidad fotográfica obtenida.

El tiempo de exposición deberá ser lo suficientemente largo, para que la influencia del error en su medida quede dentro de los límites señalados sin afectar a la calidad de la radiografía. Este tiempo, en el caso de los rayos X, no deberán ser nunca inferior a los 30 seg., sobre todo cuando sea preciso el empleo de pantallas reforzadoras salinas o si el equipo no dispone de interruptor automático.

F.-Pantallas reforzadoras.

La acción de las pantallas reforzadoras es disminuir el velo producido por la acción de la radiación difusa sobre la película. Estas pantallas están constituidas por una lámina de plomoadherida a un soporte delgado que suele ser papel o cartón. El hecho esencial es que las pantallas reforzadoras salinas, al ser excitadas por la radiación X, emiten una fluorescencia y esta luz reduce considerablemente el tiempo de exposición requerido para la obtención de la radiografía. Las pantallas reforzadoras de ploma, bajo la acción de la radiación X o gama, emiten electrones cuya presencia, sumada a la propia radiación, da lugar a una reducción en el tiempo de exposición.

G.-Filtración de la radiación.

El tiempo de exposición depende del espesor y material del filtro empleado. Los cálculos para determinar su influencia son complicados y generalmente se recurre a procedimientos experimentales.

H.-Distancia fuente o foco - película.

La intensidad de la radiación que incide sobre la película es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa la película del foco o fuente emisora de la radiación.

I.- Película radiográfica.

Existen en el mercado una gran variedad de marcas y tipos de películas, que van desde las que presentan una gran rapidez y gran tamaño de grano hasta aquellas muy lentas de grano fino con las que es posible detectar pequeños defectos.

La rapidez relativa de las distintas películas, pueden variar con la longitud de onda empleada, la densidad fotográfica a la cual se hace la medida y las condiciones en que se haya realizado el revelado.

J.-Condiciones de revelado.-

La densidad fotográfica, el contraste y el tamaño de grano dependen considerablemente del tratamiento que hayan sufrido las películas y sobre todo el tipo de revelador, temperatura y agitación del baño y tiempo de revelado.

7.5.4.- INSPECCION RADIOGRAFICA.

Balcock & Wilcox (B&W) ha utilizado la radiografía como control primordial de calidad de la ensambladura soldada desde 1929. Empezando con una sola máquina de rayos X a una potencia de 200 kilovoltios, B&W ha incrementado su capacidad a 52 unidades radiográficas. La máquina de rayos X más grande es el Acelerador Lineal de 12.8 millones de voltios.

Estas máquinas están complementadas por equipo de rayos gama; usan el radioisótopo Iridio-192 para una actividad de 10 a 100 curies, y Cobalto-60 para una actividad de 10 a 2500 curies.

Las máquinas de rayos X y los radioisótopos tienen una aplicación específica basada en la movilidad de la parte que se va a examinar o la disponibilidad de una instalación de rayos X. Las unidades de rayos X pueden ser utilizadas a conveniencia en talleres donde se usa el equipo de posición fija. Para uso en el campo o cuando el componente que se va a examinar no es movido con frecuencia, existen ciertas ventajas en el uso de los radioisótopos portátiles. El equipo de control remoto, ahora disponible, contribuye enormemente al

manejo seguro de estas fuentes radiactivas.

La radiografía, ya sea con máquina de rayos X o rayos gama que producen isótopos, consiste en colocar la fuente de rayos en un lado de la soldadura que se va a examinar, con una película adecuada en el otro lado. Los rayos, X o Gama, pasan a través de la soldadura y exponen la película. Si no hay fisura en la soldadura la película se expone en forma uniforme; si hay una fisura, los rayos pasarán a través de ella más fácilmente que a través del metal base. Por lo tanto, el área particular de la película en la trayectoria de dichos rayos será más oscura que el área que la rodea. Es así como se establece la localización y geometría de la fisura.

Con el fin de asegurar que los rayos penetran adecuadamente el objeto que se va a examinar, se coloca una pequeña lámina de metal ó "penetrómetro" que contiene 3 orificios, en el objeto de tal manera que haga que se forme una imagen en la película. El grueso de este penetrómetro y el tamaño de los orificios en él se especifican en los documentos reglamentarios apropiados, como el código ASME.

Cuando los métodos empleados son técnicamente correctos, aparecerá en la película una imagen de los orificios del penetrómetro. Con esto podemos concluir que también aparecerá en la película una imagen de las fisuras de igual tamaño o mayores. El código ASME especifica los estándares aceptados con respecto al tamaño de los defectos o fallas que pueda haber en las soldaduras, como escoria y porosidad. El código también describe las clases de soldaduras en recipientes a presión que deben ser radiografiados. B&W no sólo cumple con los requisitos del código para la radiografía, sino también utiliza esta forma de prueba no destructivas de control de calidad de soldaduras para su aplicación aún cuando no sea obligatorio por ASME.

La radiografía utiliza las radiaciones de onda corta, como los rayos X o los rayos gama, para penetrar substancias opacas. Al aplicarse a las soldaduras de tubos, parte de los rayos penetrará al tubo y la otra será absorbida, dependiendo del grueso y densidad del metal. Si existen defectos o discontinuidades, habrá una variación en la absorción de los rayos.

Cuando se registren estas variaciones en la película, se producirá una imagen o fotografía de la sombra de los rayos X del interior - del defecto. A dicha fotografía de la sombra se le denomina radiografía.

El código de calderas y recipientes a presión ASME, especifica el tamaño y grosor de las articulaciones circunferenciales de soldadura de fusión en tuberías, tubos y cámaras de agua que - van a ser radiografiadas. El código también señala los requisitos de procedimiento para tomar radiografías de soldaduras y los estándares aceptados para la integridad de estas soldaduras.

Para el trabajo en el campo es más práctica una fuente - de rayos Gama, ya que no es necesario el suministro de energía - eléctrica para efectuar la radiografía. Generalmente se usa un - radioisótopo de Iridio-192 o de Cobalto-60 como una fuente de radiación.

Donde se anticipan las fuentes pequeñas para distancias - de película son necesarias fuentes reducidas. Sin embargo, donde se utilizan grandes fuentes para distancias de película, es necesaria una fuente mayor debido a que se necesita mayor radiación.

E&W usa fuentes tan pequeñas como la de 1/16" de diámetro 1/16" - de longitud (10 curios de Iridio-192) y fuentes de un tamaño hasta de 0.27 " de ϕ por 0.33 " de longitud (150 curios de Cobalto-60). B&W limita el uso de Cobalto-60 a un grosor de acero mayor de - 1 1/2", siendo la relación D/T el factor que determina la fuente - utilizada para una aplicación en particular. En esta relación, - "D" es la distancia de la fuente a el lado opuesto de la fuente de la soldadura, y "T", es la distancia del lado opuesto de la fuente de la soldadura a la película.

Los radioisótopos son encerrados en una cápsula metálica unida permanentemente a una pieza pequeña de cable flexible. En - el lado opuesto al extremo del isótopo de este cable hay un conector al cable de accionamiento; esto permite que el radiógrafo - transporte la fuente desde el proyector hasta su posición de exposición deseada por medio de una manija o manivela a unos 50 ó 60 - pies de distancia. El área donde se realizan las exposiciones radiográficas es peligrosa, restringida y se encuentra bajo vigilancia directa de un radiógrafo calificado todo el tiempo.

En la radiografía gama se insertan dos películas entre dos pantallas intensificadoras de plomo dentro del soporte de la película. Los soportes de la película están colocados en la parte exterior de la placa o tubo en el lado opuesto a la fuente de radiación. En la mayoría de los casos, el uso de la técnica de película doble en la radiografía gama elimina nuevas tonas que resultan de los artefactos (fisuras en la película) ya que no se superimpondrán al examinar las dos películas juntas. Puede aparecer una discontinuidad más o menos densa que las áreas de soldadura adyacentes, dependiendo de su tipo. Por ejemplo: aparecerá más clara una inclusión de tungsteno y las hendiduras, escorias y falta de penetración aparecerán más oscuras en densidad que el área de soldadura adyacente sin defectos.

El código ASME exige que las técnicas radiográficas sean calificadas desde el punto de vista de la sensibilidad. Esto se logra por medio del uso de un "penetrómetro" que es un pedazo de metal $2\frac{1}{2}$ del grueso de la sección de metal que va a ser radiografiada. Se coloca el penetrómetro en el lado opuesto de la fuente de la sección. Una serie de orificios graduados de acuerdo al grosor del penetrómetro permite resolver más de un nivel de calidad o sensibilidad.

El personal no capacitado puede detectar fácilmente las discontinuidades que ocupan grandes porcentajes del grosor de la soldadura.

Para detectar defectos como hendiduras estrechas, no fusión e inclusiones de escoria, es necesario el servicio de un radiógrafo con capacitación y experiencia considerables.

La interpretación de imágenes radiográficas es un arte que no se traduce fácilmente en fórmulas ni procedimientos de rutina. Los defectos descubiertos radiográficamente son eliminados por medio de un proceso mecánico adecuado y soldados nuevamente. Posteriormente se toman radiografías para comprobar la calidad de las áreas reparadas.

La mayor ventaja que proporciona la radiografía sobre otras pruebas no destructivas es que se realiza un registro permanente sobre la película para cada inspección. Estas películas se guardan durante un mínimo de 10 años, después que el proyecto ha sido completado.

CONCLUSION.-

La inspección radiográfica revela defectos internos, así como externos, proporcionando una imagen permanente y veras de la forma y tamaño de éstos, independientemente del juicio personal del inspector, si bien la calidad de la imagen obtenida depende de la experiencia y habilidad de éste. Goza por ello de ventajas considerables sobre otros métodos no destructivos, pudiendo considerarse como una técnica fundamental. Como quiera que los defectos superficiales tienen gran importancia, técnicas tales como ensayos magnéticos y ensayos con líquidos penetrantes complementan en forma sumamente eficaz a la radiografía, proporcionando una indicación de la longitud de las grietas, ya que no de su profundidad.

7.6.- METALOGRAFIA NO DESTRUCTIVA.

7.6.1.- Selección de los materiales.

Hace treinta años, cuando los requisitos en servicio eran generalmente menos rigurosos que los exigidos en la industria actual, los materiales de acero al carbono resultaban normalmente adecuados para la inmensa mayoría de las aplicaciones en lo que respecta a los recipientes a presión, depósitos y tuberías para centrales de energía, plantas químicas, refinerías y otras instalaciones industriales. Estas circunstancias hoy día han cambiado radicalmente. Actualmente, en la manufactura de chapa, tubería y material tubular se utiliza una gran variedad de materiales féreos y no féreos con teniendo diversos elementos de aleación.

Así pues, la selección de materiales no es una labor sencilla.

En las especificaciones de las asociaciones de ingeniería e industria están reconocidos numerosos materiales féreos y no féreos. Las especificaciones que se utilizan con mayor amplitud son las preparadas por la American Society For Testing and Materials, - La American Petroleum Institute y la ASME.

Aunque la prevención de las roturas puede depender de la selección de los materiales, no deben perderse de vista los factores económicos. En la Selección de los materiales más adecuados, - deberá elegirse el material más económico que satisfaga los requisitos de las condiciones de servicio y las especificaciones de los Códigos y Reglamentos.

7.6.2.- Resultados de las Pruebas de Laboratorio.

El hecho de aceptar como base los resultados obtenidos en el laboratorio mediante pruebas a escala reducida, ha dado lugar a fuertes roturas en servicio como resultado de una elección equivocada de materiales para recipientes y componentes tubulares. Las pruebas de tracción, fluencia e impacto conducen a menudo a situaciones de este tipo. Las pruebas a escala reducida pueden estar desorientadas si en ellas no se tienen en cuenta las variaciones químicas y estructurales, y no reflejan los efectos del montaje en taller, soldadura en obra y el ambiente del servicio en las estructuras grandes.

La selección de un metal base resulta muy difícil cuando las condiciones de servicio son algo más severas que aquellas para las que existen datos experimentales. Frecuentemente, la selección se basa en la interpretación de los resultados obtenidos por procedimiento mecánico acelerado o pruebas corrosivas de laboratorio.

7.6.3.- Materiales de Acero al Carbono.

Los materiales de acero al carbono para chapas y tubos están clasificados en diversas especificaciones que admiten diferentes niveles de calidad. Por ejemplo, para las aplicaciones más rigurosas, los tubos en acero al carbono se especifican a menudo en las normas del ASTM como A106, que admite solamente tubos estirados, o desoxidados con silicio.

El acero al carbono para tubos fabricados bajo los requisitos de la especificación A53 del ASTM es barato. Si el tubo A53 no es desoxidado, la microestructura será menos uniforme que la correspondiente al A106 para tubos.

7.6.4 Formación de Grafito, fragilidad y agrietamiento.

Como ejemplos bien conocidos de roturas que no pudieron sospecharse en los estudios realizados en el laboratorio pueden citarse los que resultan como consecuencia de la grafitación de los aceros al carbono y al carbono-molibdeno utilizados en tubos después de trabajar a temperaturas por encima de los 800° F (427°C).

En las etapas finales de la grafitación, el acero en la zona afectada está constituido esencialmente por hierro puro y carbono. Ambas fases son extremadamente frágiles.

La formación de grafito y la fragilidad resultante se limitan generalmente a una zona estrecha en la zona afectada por el calor próxima a la soldadura normalmente 1/16" (1.59 mm) desde dicha soldadura.

El grafito del acero es carbono libre, que bajo ciertas condiciones, se forma por la disociación de la cementita en hierro y carbono. La tendencia de la cementita a ser inestable se produce en primer lugar cuando el acero se calienta rápidamente a temperaturas por encima de la temperatura de transformación, en la que el acero cambia la ferrita en austenita y los carburos de hierro (cementita) se disuelven.

7.6.5 Resultados de los métodos de fabricación del Acero.

Los métodos de fabricación del acero tienen una importante influencia sobre la sensibilidad de los aceros al carbono y $1/2\text{Mo}$ a la formación de grafito. En tales casos, es normal la adición de aluminio para la desoxidación, en cantidades superiores a 1 lb. de aluminio por tonelada de acero. Los aceros al molibdeno desoxidados con silicio, procedimiento que ha llegado a generalizarse, por lo general no son susceptibles a la formación de grafito.

Los aceros al molibdeno con contenidos por encima de 1 Mo , que también se han fabricado ocasionalmente no han experimentado formación de grafito a temperaturas por encima de los 800°F (427°C), incluso habiendo sido desoxidados con 1 a 2 lbs. de aluminio por tonelada de acero. Los aceros de baja aleación de Cr-Mo que se utilizan en la actualidad en gran proporción para trabajar a temperaturas que superan los 850°F (454°C), tampoco han experimentado formación de grafito.

7.6.6. Clasificación Metalográfica de la Grafitación.

La evaluación metalográfica es la que se utiliza con mayor amplitud para determinar el grado de grafitación y confirmar los resultados de la prueba de doblado evaluando la pérdida de ductilidad. El procedimiento real consiste en examinar, la sección total de la probeta de soldadura mediante un microscopio metalográfico, o cortar pequeños segmentos de esta probeta representativos de la zona afectada por el calor, el metal base y el metal depositado.

Se realiza un examen inicial a 100 diámetros para determinar la presencia y porcentaje de grafitación. La muestra se examina a continuación a 500 diámetros para establecer con mayor exactitud el grado y tipo de grafitación. Ambos aumentos son necesarios para una interpretación adecuada de la grafitación.

La importancia de la grafitación depende de la distribución tamaño y forma de las partículas de grafito .

La concordancia entre una buena evaluación metalográfica y una prueba de doblado, normalmente puede considerarse buena.

7.6.7 Regeneración de las zonas de Soldadura Grafitadas.

La detección de la presencia de grafito en su primera fase en una unión soldada, puede permitir un programa de regeneración, que consiste simplemente en un tratamiento térmico especial. Cuando la grafitación se detecta en un grado más crítico, puede ser necesario un programa de regeneración mucho más costoso, que puede consistir en el burilado de la soldadura y de la zona afectada por el calor, volviendo a soldar a continuación o, puede incluso ser necesaria la reposición completa del tubo o sistema tubular.

En el caso de materiales de acero al carbono-molibdeno, las uniones con grados de grafitación del tipo ligero o moderado, por lo general pueden regenerarse mediante tratamiento térmico. Dicho tratamiento térmico consiste, normalmente, en el calentamiento de la soldadura y zona afectada por el calor durante dos horas a 1750°F (954°C) aproximadamente, seguido de un enfriamiento lento hasta la temperatura ambiente y un posterior tratamiento térmico de "estabilización metalúrgica" durante cuatro horas a 1300°F.

Aunque se han realizado muchos estudios de laboratorio conducentes a evaluar la formación del grafito en los aceros al carbono y al carbono-molibdeno, estos estudios no han podido reproducir el mismo tipo crítico de formación de grafito causante de fragilidad y agrietamiento en instalaciones tubulares trabajando a elevadas temperaturas de servicio.

7.6.8.- Aceros aleados ferriticos en servicios a elevadas temps.

Se han presentado numerosos casos de agrietamientos en aceros al molibdeno y al cromo-molibdeno, aleados con vanadio, al objeto de incrementar la carga máxima de fluencia a temperaturas del orden de los 800°F (427°C) a 1050°F (566°C).

En la soldadura de aceros de baja aleación al cromo-molibdeno con contenido vanadio, la sensibilidad al agrietamiento es menor cuando se utilizan metales de aportación sin vanadio tales como 2 1/4 Cr-1 Mo. A esto se asocia una mayor ductilidad debido a la ausencia de vanadio en el depósito de soldadura.

7.6.9.- Aceros inoxidables para instalaciones sometidas a corrosión.

Entre los aceros inoxidables austeníticos de utilización en la construcción de recipientes, depósitos y conducciones tubulares a presión, el tipo 304 es el más económico. Tanto en tubo estirado como soldado, el tipo 304 proporciona una excelente resistencia contra muchos agentes corrosivos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que algunos líquidos corrosivos lo atacan considerablemente. En tales casos es preciso recurrir a otros tipos de aceros inoxidables u otros materiales férreos o no férreos.

7.6.10 El acero inoxidable en instalaciones sometidas a elevadas temperaturas.

Cuando la temperatura de trabajo alcanza aproximadamente los 1050°F (565°C), es muy normal la utilización de materiales de aceros inoxidables austeníticos en las tuberías y recipientes a presión. El peligro que encierra la selección de materiales basada únicamente en los resultados obtenidos en las pruebas a escala reducida de laboratorio, viene reflejado en el gran número de roturas originadas en tubuladuras de acero inoxidable tipo 347 (18 Cr-8 Ni-Nb), utilizadas para la conducción de vapor en instalaciones generadoras de electricidad.

7.6.11.- La fase sigma de los aceros inoxidables.

La formación de la fase sigma puede producirse en los aceros inoxidables austeníticos sometidos durante largos períodos de tiempo a elevada temperatura comprendida entre los 1050°F y 1700°F aproximadamente. La presencia de cantidades considerables de fase-sigma tiende a producir una seria fragilidad a las temperaturas atmosféricas. La magnitud de la temperatura y la velocidad de formación sigma pueden ser afectadas en distinto grado por la composición, estructura metalúrgica y deformación.

Aunque la formación de la fase sigma se produce a temperaturas por encima de los 1050°F, la fragilidad resultante como consecuencia de la presencia de esta fase se agrava cuando el acero se enfría a temperaturas por debajo de los 500°F. Por lo tanto, a elevadas temperaturas, los aceros inoxidables en los que se ha formado la fase sigma, generalmente pueden soportar las fatigas mecánicas y térmicas normales así como los ciclos de choques considerados en el proyecto. Sin embargo, al enfriar por debajo de temperaturas del orden de los 500 °F la resistencia al impacto es casi nula y resulta totalmente imposible el mantenimiento de una instalación constituida por aceros frágiles sobre los que no se puede aplicar el martillo o la llave para tubos. Para la eliminación de la fase sigma y el restablecimiento de la ductilidad normal a la temperatura ambiente y tenacidad del acero inoxidable, pueden ser necesarios tratamientos térmicos a temperaturas por encima de los 1900 °F. Sin embargo, los efectos de tales tratamientos son solamente temperales y la fase sigma precipita nuevamente al llevar al acero a gradientes de temperatura en los que dicha fase tiende a formarse.

7.6.12 Selección del metal de aportación.

La selección del metal de aportación de soldadura es extraordinariamente importante en la prevención de roturas de recipientes y tubos.

7.6.13.- ANALISIS METALOGRAFICO NO - DESTRUCTIVO.

Uso.-

Estas pruebas se aplican a toda clase de materiales metálicos con el fin de obtener diversos datos que derivan de la observación de la estructura cristalográfica de los metales: Composición química, tratamiento térmico, temperatura alcanzada durante el servicio, proceso de fabricación de la pieza, deformación a la cual - fue sujeto el material, forma y causa de grietas cuando las hay.

Procedimiento.-

La primera operación consiste en pulir mecánica o electroquímicamente la zona donde se tomará la metalografía, el instrumento Transpol permite esmerilar, lijar y pulir con pasta de diamante en cualquier posición y lugar, por su parte, el instrumento Muvipol de Struers se utiliza para el pulido electroquímico.

Completada la operación anterior, se aplica en la zona el reactivo apropiado observándose con el microscopio especial Unión - RM-2 dotado de bases magnéticas que le permiten fijarse en lugares difíciles, obteniéndose las fotomicrografías requeridas, mediante - el acoplamiento de una cámara fotográfica a dicho microscopio.

En caso de que sea difícil o impráctico observar la superficie directamente al microscopio (interior de un tubo, interior de un barreno, partes en vibración, etc.), se puede tomar una réplica de la estructura del metal con un plástico especial en el cual queda impresa la estructura, procediéndose a su observación microscópica y a obtener las fotomicrografías correspondientes .

7.6.14 ANALISIS METALOGRAFICO DESTRUCTIVO.

Uso.

Esta prueba se usa para los mismos fines que el análisis no-destructivo, diferenciándose en aspectos del procedimiento, ya que ésta se efectúa en el laboratorio y por lo mismo es posible obtener una mejor imagen de la estructura cristalográfica del metal.

Procedimiento.

La muestra del metal es montada en cilindros de baquelita de 1" de diámetro mediante una prensa hidráulica como preparativo necesario para las tres fases siguientes de pulido: la primera en el aparato Rotary Preginder. La segunda con pasta de diamante de 5 a 1 micrón en el aparato STRUERS DP-9 y de la tercera pasta de alúmina de 0.05 micrones en el aparato UNIVERSAL POLISHER.

Después del pulido se procede a aplicar los reactivos apropiados en la muestra, observándose en el microscopio Reichert MeF que proporciona una mejor definición de la imagen tomándose las fotomicrografías convenientes.

7.6.15 ANALISIS QUIMICOS NO DESTRUCTIVOS.

Uso.

Esta prueba permite determinar los contenidos de cobre, cromo, molibdeno y níquel en piezas metálicas, en el campo, sin alteración alguna de ellas a fin de verificar que éstas cumplan con las especificaciones de calidad respectivas, por ejemplo en aleaciones cupro-níquel, aceros inoxidables, aceros refractarios, aceros de baja aleación, etc., también se aplica esta prueba para la identificación de materiales en sus lugares de almacenamiento.

Tipos.

Se utiliza para esta prueba el instrumento portátil Texas Nuclear con fuente radioactiva de plutonio o cadmio con las siguientes sensibilidades:

| | |
|-----------------|------------------|
| \pm 0.5 % Cu. | \pm 0.05 % Mo. |
| \pm 0.2 % Cr. | \pm 0.5 % Ni |

Procedimiento.

Se aplica sobre la zona de prueba la cabeza de medición que contiene la fuente radioactiva, su acción excita los átomos del elemento que se desea analizar haciéndolo emitir rayos X que viajan por los filtros ubicados en la cabeza de medición para ser analizadas por el contador de centelleo al cual se encuentra conectado. Este los transforma en números claves que se leen en un contador digital, los que se interpretan en las gráficas de los elementos correspondientes.

7.6.16 ANÁLISIS QUÍMICOS DESTRUCTIVOS.Uso.

Estas pruebas permiten conocer la composición química de materiales y piezas metálicas, a fin de verificar que cumplan con las especificaciones de calidad, determinar causas de fallas debidas a materiales con composición química inadecuada y solicitar la fabricación nacional de piezas importantes.

Tipos.

Se aplican dos procedimientos para efectuar los análisis químicos: por combustión para los análisis de azufre y carbono, mediante el instrumento LECO 750-100, y el método clásico de la vía húmeda para los demás elementos.

Procedimiento.

1.- LECO 750-100

- a) Carbono: Se somete la muestra a un proceso de combustión en un horno de inducción con una corriente de oxígeno, - procediéndose a medir el bióxido de carbono liberado por conductimetría térmica.
- b) Azufre: Se somete la muestra a un proceso de combustión en un horno de inducción, procediéndose a medir la cantidad de bióxido de azufre liberada, por titulación.

2.- VIA HUMEDA.

Este método consiste en disolver la muestra metálica mediante una mezcla determinada de ácidos, para proceder a medir por medio de los reactivos adecuados al porcentaje existente del elemento buscado.

1.7.- PRUEBAS ULTRASONICAS.7.7.1 Introducción.

El estudio del sonido, la acústica, describe los principios de las oscilaciones mecánicas y su propagación en materias sólidas, líquidas y gaseosas. En el vacío no hay sonido, debido a que son las propias partículas de materia las que oscilan lo que no pasa con las ondas de luz o las ondas de alta frecuencia.

En este caso, es el estado eléctrico y magnético del vacío el que oscila. Una onda de sonido en el aire, desplaza un cierto volumen de aire en un sentido y en otro, mientras que una onda de luz atraviesa el aire sin producir cambio alguno en el estado de éste.

Al producirse una onda de sonido y desplazarse un cierto volúmen de aire, este desplazamiento a su vez hace vibrar la membrana - del oído humano y es de ésta manera como percibimos el sonido. Para esto, la frecuencia del sonido no debe ser muy baja ni muy alta. Bajo diez ciclos por segundo no oímos ningún ruido o sonido, ni tampoco cuando la frecuencia es mayor de 15000 a 20000 - ciclos por segundo.

A las ondas de luz que no son percibidas por el ojo - humano debido a su alta frecuencia, se les denominó Ultra-violetas. De la misma forma, a las ondas de sonido cuya frecuencia - es mayor de 20 000 ciclos por segundo, se les llamó Ultrasónicas. En el caso contrario, a las ondas de sonido de frecuencia menos - de 10 cps, se les llamó Infrásónicas. Lo anterior es válido sólo para el oído humano. Cuando se utilizan otros métodos de de - tección del sonido, las fronteras de percepción son muy diferen - tes.

Las Ondas Ultrasónicas se producen muy frecuentemente - en la Naturaleza y en la vida diaria y además con tal intensidad que podemos dar gracias que nuestro oído no las perciba. Por - ejemplo, en los silbatos de vapor de las grandes fábricas, o al - afilar una herramienta en un esmeril. Además del ruido percepti - ble, se producen ondas ultrasónicas, incluso de muy alta frecuen - cia, como las que se utilizan para el ensaye de materiales, o - sea desde 100 kilociclos por segundo, hasta 10 000 kilociclos - por segundo.

Hay una gran variedad de aplicaciones de las ondas só - nicas y ultrasónicas en la técnica, como por ejemplo:

- 1.- Para eliminar las partículas de suciedad de los teji-- dos de fibra sintética al lavarse.
- 2.- Para expulsar partículas extrañas al limpiar una super - ficie.
- 3.- Para eliminar partículas de materia al perforar.
- 4.- Para vencer la tensión superficial al emulsionar, etc.

Estas son unas de sus aplicaciones en donde se utiliza la energía mecánica de las ondas ultrasónicas. En otros casos sólo se utiliza una parte de la energía de las ondas sónicas, lo suficientemente potentes para producir una señal clara, como por ejemplo:

- 1.- Para orientar barcos en alta mar.
- 2.- Para sondear las profundidades marítimas.
- 3.- Para ensaye de materiales, para conocer su estado.

Por ejemplo, para descubrir fallas mecánicas, para determinar su espesor, para determinar sus constantes elásticas, para conocer su estado metalúrgico, etc.

Para determinar las cualidades mecánicas de un material, - un método mecánico es el más directo y adecuado. Para averiguar - el límite de ruptura de un eje, por ejemplo, se puede ir doblándolo hasta que se rompa, midiendo las fuerzas ejercidas, y así se sabrá - cual es el límite de ruptura. Esta es una prueba mecánica, pero - destructiva. Mediante las ondas ultrasónicas también se puede ha--cer la misma prueba, pero sin destruir el material.

Desde hace mucho tiempo ya se usaba el sonido para prueba de piezas de diferentes material. Se pueden encontrar fallas inter - nas en piezas forjadas o coladas, golpeando dichas piezas con un - martillo. Cuando el sonido es diferente al normal, significa que - existe una falla. Este método es hoy aún muy usado. De esto se - puede deducir que las pruebas con sonido es uno de los métodos no - destructivos más antiguo para probar o detectar fallas no visibles.

El paso de ondas sónicas a ondas ultrasónicas se logró - gracias a los nuevos métodos electrónicos de generación y recepción de señales, los cuales vinieron a sustituir al martillo y al oído.-

El primero que hizo pruebas en materiales usando las on--das sónicas fué Sokolov, en 1929. El detectaba las fallas haciendo pasar ondas de sonido por diferentes partes de la pieza que estaba - probando y comparando estos resultados con los obtenidos al hacer - la misma prueba en parte sin falla. Cuando un resultado no concor--daba, significaba que existía una falla.

En 1942, Firestone por primera vez aplicó la sonda acús--tica usada en sondeos marítimos y orientación de barcos, al ensaye de materiales.

Después de 1945 se comenzó a usar mucho éste método debido a la urgencia de procedimientos no destructivos para probar materiales.

Para el ensaye de materiales por medio de ondas ultrasónicas se emplean ondas mecánicas, a diferencia de la técnica de los Rayos X en donde se emplean ondas electromagnéticas. Una onda mecánica se produce por las oscilaciones de las partículas de un cuerpo

7.7.2.- TIPOS DE ONDAS.

Onda Longitudinal. En esta onda el sentido de movimiento de las partículas es codireccional al avance de la onda. Esta es la propia onda sónica y es de esta manera como se transmiten las oscilaciones de una fuente de sonido. a través del aire, hasta nuestro oído.

Onda Transversal.- La característica de esta onda es que al contrario de la onda longitudinal, al atravesar un cuerpo sólido las partículas de éste no oscilan longitudinalmente, sino perpendicularmente al sentido de avance de la onda.

Ondas estacionarias.- En la práctica del ultrasonido se presenta con bastante frecuencia las ondas estacionarias, por ejemplo, cuando una onda se refleja en una superficie plana. Ondas ultrasónicas estacionarias se usan en el ensaye de materiales para la medición del espesor de paredes mediante el proceso de resonancia. En otros casos pueden ser, bajo ciertas circunstancias, muy molestas y deben ser evitadas. La onda estacionaria es un caso particular de la superposición de varias ondas de igual frecuencia, lo que normalmente se conoce como interferencia.

7.7.4.- FORMULAS.

Para todos los tipos de onda se cumple la relación entre frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación del sonido.

$$f = c$$

en donde: f = frecuencia en ciclos por segundo.

λ = longitud de onda en metros.

c = vel. del sonido (vel. de la onda) en m/s.

En lugar de ciclos por segundo y metros, generalmente se usan megaciclos por segundo y milímetros.

7.7.4.- Generación y recepción de ondas ultrasónicas.

Durante 20 años se han conocido los fundamentos para probar placas y forjaduras por medio del uso de la prueba ultrasónica, y el uso de producción de este método es ahora ampliamente aceptado.

Los sonidos de muy alta frecuencia, conocidos como energía ultrasónica, brindan un método para la "Prueba-No-Destructiva" de materiales y en muchos casos este podrá usarse en ventaja de, o en combinación con exámenes radiológicos de rayos X.

Las diferencias entre este método y la radiografía se pueden explicar en la mejor forma mediante una consideración del fenómeno físico que distingue a ambos métodos y evidencia ventajas en algunos sentidos y nuevas posibilidades en otros.

La Generación y Recepción de ondas ultrasónicas se basa casi exclusivamente en el efecto piezoeléctrico, descubierto en 1980 por los hermanos Curie.

La prueba ultrasónica se puede aplicar a casi todos los materiales usados en la industria de recipientes a presión. En general se puede examinar cualquier tamaño o grosor de dichos materiales. El principio que implica la generación del sonido necesario para penetrar los materiales involucra un fenómeno natural de ciertos materiales llamados "materiales piezoeléctricos". Cuando estos materiales son modulados por medio de electricidad, responden vibrando mecánicamente y causando así un sonido. Al recibir vibraciones de sonido, estos mismos materiales tienen la capacidad de transformar el sonido en impulsos eléctricos. Se puede generar el sonido en frecuencias que oscilen entre 200 kilohertz (kilociclo/seg) y 25 megahertz. En la industria de recipientes a presión, la escala va de 1 a 5 megahertz.

En 1881 se descubrió el efecto contrario, es decir, que un material piezoeléctrico al que se le aplica una tensión eléctrica, reacciona con un cambio en su forma. El primer efecto se llama efecto piezoeléctrico directo y el segundo efecto piezoeléctrico recíproco.

El primero se usa para la recepción y medición de las ondas ultrasónicas y el segundo para la generación.

En la prueba ultrasónica, los impulsos eléctricos son dirigidos desde un oscilador hacia un "transductor" que se aplica al material que va a ser examinado. Se logra un buen contacto entre el transductor y el material a través de un "couplant" líquido. El transductor contiene un cristal de material piezoeléctrico, se genera sonido de alta frecuencia y se dirige al material que va a ser examinado. Si se encuentra una fisura por medio del emisor de sonido y si la geometría involucrada es adecuada, parte del sonido se reflejará de la fisura al transductor. Este regreso de sonido genera un impulso eléctrico el cual, a través de un sistema de circuitos adecuados, se convierte en una exposición visual sobre una pantalla de un osciloscopio. Toda la superficie de una placa o forjadura puede ser trazada con el transductor, haciendo así una inspección del volumen completo del material. Al observar el osciloscopio, los técnicos identifican el tamaño y localización de cualquier fisura que pueda existir. El código ASME establece los estándares de aceptación para las pruebas ultrasónicas.

La prueba ultrasónica proporciona la importante ventaja de que el material base de cualquier grueso práctico puede ser examinado rápidamente con equipo relativamente barato, ya sea en la planta de fabricación o en el lugar donde se utiliza.

7.7.5 Materiales Piezoeléctricos.

Los materiales piezoeléctricos principales son los siguientes: el Cuarzo, el titanio de Bario (BaTiO_3), el sulfato de Litio (LiSO_4) y el metaniobato de Plomo (PbNb_2O_6)

El cuarzo es transparente y de gran dureza y es atacado químicamente sólo por muy pocos elementos. Las placas de cuarzo pueden ser mate o claras, según el pulimento, y son cortadas de cristales naturales que por lo regular provienen de Brasil. Los electrodos se fabrican por metalización al vacío y son reforzados mediante aplicación al fuego de plateaduras. Los alambres se pueden soldar directamente, usando soldadura adecuada.

El sulfato de Litio es el material más sensible de todos. Es acuoso, se licúa a los 75°C y es soluble en agua. Las placas se fabrican artificialmente, a partir de la solución acuosa. Los electrodos también se fabrican por metalización al vacío.

El titanio de Bario y el metaniobato de Plomo son muy poco usuales porque es difícil que se puedan obtener placas grandes. Al contrario del cuarzo y del sulfato de Litio, el titanio de Bario y el metaniobato de Plomo obtienen sus propiedades piezoeléctricas por polarización.

7.7.8.- Palpadores.

El palpador contiene la placa piezoeléctrica, la que transforma las tensiones de alta frecuencia en ondas ultrasónicas. En un palpador normal, estas ondas salen perpendicularmente a la superficie de contacto del palpador y por lo tanto, entran perpendicularmente en el material de prueba. En palpadores angulares, entre la placa piezoeléctrica y la superficie de contacto hay un cierto ángulo, lo que hace que en estos casos las ondas ultrasónicas penetren oblicuamente en el cuerpo en cuestión.

El palpador consta esencialmente de los siguientes componentes: placa piezoeléctrica, cubierta metálica, cuerpo amortiguador, conductor y clavija para enchufar.

7.7.9 Métodos.

Las ondas ultrasónicas son transmitidas en líneas rectas a través de cuerpos sólidos (por ejemplo hierro) y prácticamente no disminuyen en intensidad, ni aún a distancias de muchos metros.

Los rayos X y los rayos Gama, por el otro lado, al atravesar acero son absorbidos en grado tan considerable que el límite superior para la penetración se mide en pulgadas y más allá no resulta posible ninguna prueba, ni al mediar las condiciones más favorables.

Si consideramos una superficie limítrofe entre hierro y aluminio, que o bien puede ser una superficie externa de la muestra o superficie de contacto de una grieta o cavidad internas,

la conducta de ambas formas de energía es precisamente invertida. Mientras la energía ultrasónica atraviesa rápidamente y sin impedimento el acero pero no puede pasar a ningún grado apreciable de este último al aire, los rayos X están siendo reducidos en grado considerable en intensidad en el hierro pero pasarán del hierro al aire sin pérdida y continuarán en su trayectoria en el aire sin sufrir ninguna reducción.

En el caso de la energía ultrasónica, por consiguiente, casi la totalidad de la energía es reflejada en la superficie límite. El ancho de la discontinuidad, por ejemplo una grieta, prácticamente no ejerce ninguna influencia. Las ondas ultrasónicas de un largo de aproximadamente 0.04" en el hierro serán reflejadas casi totalmente por una grieta de tan sólo 0.00005" de ancho. Una grieta incipiente en un eje o una cavidad en un bloque de hierro no son atravesables para la energía ultrasónica y la última es reflejada de fallas como éstas al igual precisamente de como la luz blanca es reflejada de un cuerpo blanco en el rayo de un proyector. Esto hecho da origen a dos métodos de prueba para defectos internos en una muestra. Estos se conocen como los métodos de Transmisión y de Reflexión, respectivamente.

7.7.10 Método de Transmisión e Inspección Ocular Directa.

La transmisión de un rayo ultrasónico a través de una muestra puede medirse colocando un transmisor ultrasónico en una cara y un receptor en la otra. Si la muestra es explorada ahora con tal disposición y se toma cuidado para que las condiciones del acoplamiento en cada probador sean las mismas y, si al hacerlo así, en el receptor se observen variaciones de la energía transmitida, entonces debe haber defectos en la muestra. Un desarrollo particular del método de transmisión constituye el aparato de detección ultrasónico visible, en el cual el rayo ultrasónico es observado a lo largo de una sección transversal relativamente grande de la muestra y el rayo emergente produce un cuadro o imagen visibles en los cuales las áreas defectuosas aparecen como manchas oscuras.

7.7.11.- Método de Reflexión.

En este método usamos la energía ultrasónica que es reflejada desde el extremo posterior de, o desde, un defecto de la muestra. No sólo podemos medir la intensidad del eco (onda secundaria reflejada) sino también el tiempo que requiere para propagarse del transmisor a la pared posterior o el defecto, y regresar al receptor, para esto no usamos un rayo ultrasónico continuo sino pulsaciones breves emitidas regularmente.

Cada pulsación es transmitida a través de la muestra a una velocidad que depende del material particular. El tiempo requerido es proporcional al largo del recorrido. Un aparato que mide el tiempo requerido en un material particular, por ejemplo hierro, puede ser calibrado por tanto directamente en unidades de longitud. De esta manera se hace posible leer la distancia del transmisor al defecto o a la pared posterior directamente en centímetros.

La medición de la distancia a la pared posterior constituye un método de medición de espesores de pared que resulta singularmente útil para objetos que son accesibles desde un lado solamente.

Técnicamente resulta posible con este método tener probadores separados para el transmisor y el receptor o de hecho usar el mismo probador para ambas funciones.

Hasta ahora, los transmisores ultrasónicos para pruebas no-destructivas consistían en cristales planos de cuarzo que vibran mecánicamente cuando se les aplica un apropiado voltaje de alta frecuencia. La transmisión de las vibraciones ultrasónicas a la muestra no puede verificarse a través del aire. Se realiza a través de un líquido intermedio, en masa o como una capa delgada, entre el cuarzo y la superficie de la muestra. Algunos líquidos son más apropiados que otros para ese propósito siendo aceite o agua los usados generalmente.

En forma inversa se genera un voltaje eléctrico en un cristal de cuarzo similar cuando el último está acondicionado para vibrar con un rayo ultrasónico incidente. El cristal obra entonces como un receptor ultrasónico. Cuando se usa el mismo cristal tanto como transmisor y como receptor efectuará estas dos funciones en forma continua y alternada.

Resumiendo. Las pruebas Ultrasónicas tienen el uso y procedimiento siguiente:

Uso.

Las pruebas ultrasónicas se usan para obtener dos tipos - distintos de resultados: 1) medición de espesores y 2) detectar - defectos internos y/o superficiales en piezas metálicas.

La medición de espesores permite evaluar la velocidad de - corrosión o desgaste de distintos materiales, pudiéndose así tomar - las medidas de protección que se requiere.

La detección de defectos tales como grietas, porosidades, - inclusiones y laminaciones mediante pruebas ultrasónicas permite a - su vez prevenir rupturas inesperadas y los perjuicios que de ello - derivan.

PROCEDIMIENTO.

En la medición y verificación de espesores se utiliza el - instrumento Krautkramer X-METER, el cual mediante transductores - (palpadores) adecuados al espesor que se desea medir, emite ondas - ultrasónicas que al ser recuperadas determinan dicho espesor, esta- - bleciendo la relación de proporcionalidad entre éste y el tiempo - transcurrido entre la emisión y recuperación de la onda ultrasónica. En la detección de defectos se utiliza el instrumento Krautkramer - USM-2 que funciona de modo similar al X-METER, con la variante de - que la lectura de la onda emitida permite determinar la existencia o no de defectos, su ubicación y tamaño aproximado.

CONCLUSIONES.

El ultrasonido es, sin lugar a duda, el procedimiento para - ensayar materiales que más ventajas presenta con respecto a otros - procedimientos. Una de las principales ventajas es que es un método - no destructivo. Otro procedimiento que se usa mucho para el ensaye - de materiales es la técnica de los rayos X que también es un procedi - miento no destructivo, pero tiene la gran desventaja, en comparación - con la técnica del Ultrasonido, de que es sumamente cara. Ahora - bien, estos dos procedimientos se pueden usar conjuntamente, es de - cir, primero con la ayuda de las ondas ultrasónicas se localiza el - lugar de una falla y mediante radiografía se conocerá la forma y -

magnitud de ella. Se procede de esta manera únicamente cuando se desea una gran exactitud, ya que la mayoría de las veces el Ultrasonido se basta a sí solo para demostrar la forma y magnitud de la falla.

Otra ventaja del ultrasonido sobre la técnica de los rayos X es que con el primero se pueden ensayar piezas de más de 1 metro de espesor y más de 20 metros de longitud, mientras que con el segundo solo se pueden radiografiar espesores de unos 30 cms. Además con el ultrasonido en pocos minutos se pueden ensayar grandes superficies, no siendo igual con los rayos X.

Una desventaja del Ultrasonido es que no se guarda constancia alguna de la prueba, mientras que los rayos X nos proporcionan las radiografías, documentos de gran valor técnico.

Sólo en muy raras ocasiones, cuando la prueba lo amerite, se pueden fotografiar las pantallas de los aparatos ultrasónicos, con cámaras especiales, con el consecuente aumento del costo de la prueba.

El Ultrasonido no es un procedimiento muy exacto, ya que gran parte de la exactitud de los resultados depende de la experiencia del operador. Para mejorar un aparato ultrasónico es necesario contar con operadores especializados.

El Ultrasonido se ha desarrollado rápidamente en los últimos años y es por hoy la técnica que más se usa en el ensaye de materiales.

7.8.- PRUEBA DE PARTICULAS MAGNETICAS.

Esta prueba se utiliza para el exámen de superficies.

Los procedimientos de fabricación en B&W implican un amplio uso de la prueba de partículas magnéticas. Este tipo de prueba está limitado a los materiales magnéticos y puede involucrar el método seco, ya sea con corriente alterna o directa, o el método húmedo que utiliza ya sea luz normal o luz ultravioleta para inspección. Todos estos procesos implican la generación de un campo magnético en la parte que se examina. Una fisura en el material, en la superficie, o ligeramente en la subsuperficie, causa una interrupción de este campo y, en consecuencia, se hace perceptible por la acumulación de partículas magnéticas. El método específico de prueba de partícula magnética empleado depende ampliamente del tamaño, forma y condiciones de la superficie de la parte que se va a examinar.

La prueba de partículas magnéticas proporciona un método no caro de determinar las condiciones de la superficie y rededor de la superficie de los materiales magnéticos. Se puede utilizar ya sea en el taller o en el campo con personal que puede ser capacitado fácilmente.

Uso.-

Los resultados de esta prueba son los mismos que los que se obtienen mediante los líquidos penetrantes, con las ventajas de que por este procedimiento, pueden detectarse discontinuidades subsuperficiales que no revelan los primeros. Esta prueba solamente se puede aplicar sobre materiales magnéticos: acero al carbón o de baja aleación, piezas de fundición, etc.

Tipos.-

Las modalidades de esta inspección consisten en que las partículas magnéticas pueden aplicarse en suspensión mediante un solvente o un polvo, también puede usarse caucho magnético de alta intensidad para partes difíciles como agujeros y dientes de piñón por ejemplo, además, el campo magnético puede provocarse mediante -

el uso de un imán permanente; con electro-imán o con el generador F-4 (equipo Magnaflux).

Procedimiento.-

Se aplican las partículas magnéticas en la zona que se desea inspeccionar mientras se forma un campo magnético en ella, provocando la agrupación de las partículas en los lugares defectuosos de la zona magnetizada; (dicho campo es perpendicular a la dirección de la grieta).

7.9.- PRUEBA DE LIQUIDOS PENETRANTES.

Uso.-

La aplicación de líquidos penetrantes permite la detección de discontinuidades superficiales, tales como grietas y porosidades que pueden provocar rupturas inesperadas con los consecuentes perjuicios de falla en un proceso de producción o bien de uso continuo.

Estas pruebas se aplican a: aceros inoxidables, piezas coladas, soldaduras, cuerpos de bombas, monoblocks, etc.

Tipos.-

Existen dos tipos de pruebas: líquidos penetrantes colorantes y líquidos penetrantes fluorescentes; en ambos casos el procedimiento aplicado es el mismo, usándose los fluorescentes cuando se necesita una mayor precisión, es decir, cuando se requiere detectar grietas o porosidades más finas.

Procedimiento.-

Se limpia la superficie metálica, se aplica el líquido penetrante, se deja transcurrir el tiempo adecuado para su penetración, se limpia nuevamente la superficie mediante el uso de un sol

vente que deja intactos los lugares donde hubo absorción del líquido.

Para el caso de los colorantes, se aplica una suspensión llamada revelador que absorbe el líquido que ha quedado en la grieta o en los poros, revelando así la existencia o la ausencia de estos. Para el caso de los líquidos fluorescentes, además de aplicarse el revelador, se usa una fuente de luz ultravioleta que permite una observación visual directa más precisa de los lugares con discontinuidad.

7.10 INSPECCION VISUAL.

Uso.-

La inspección visual se aplica en toda clase de piezas y equipos a fin de detectar defectos que prevengan del acaecimiento de fallas, rupturas, fugas, retrasos en los abastecimientos y la producción, para verificar alineación de superficies, deformaciones etc.

TIPOS.-

La inspección visual puede ser externa o interna, En la externa, los instrumentos que se usan son: los Kits de inspección visual Allén y el microscopio estereoscópico Olympus. En la interna, los instrumentos que se usan son: boroscopios, flexiscopios y limitadamente los Kits de Allen.

PROCEDIMIENTO.-

1.- Inspección externa.

Se realiza con la utilización de los Kits de Allen, que consisten en conjuntos portátiles eléctricos dotados de lentes, espejos y fuente luminosa para mejorar la observación con el aumento, con luz y dando acceso a partes difíciles.

Cuando se requiere una observación más precisa se utiliza el microscopio estereoscópico Olympus, también portátil, que produce de 7 a 80 aumentos y no requiere de preparación especial alguna.

2.- Inspección interna.-

Este tipo de inspección visual se aplica predominantemente en tuberías, pero puede usarse para observar todo tipo de interiores metálicos o piezas huecas en las condiciones normales del medio ambiente.

Se utilizan los boroscopios que consisten en instrumentos eléctricos y portátiles, dotados de lentes, espejos y fuente luminosa para observaciones visuales, hasta 4 metros en el interior en línea recta.

El Flexiscopio que también se utiliza para este tipo de inspecciones funciona de modo similar, pero para interiores curvos.

7.11.- INSPECCION POR CORRIENTES DE EDDY.

Uso.-

Este tipo de pruebas permite: 1) corroborar las especificaciones de calidad referentes a espesores de recubrimientos no-magnéticos sobre piezas y materiales magnéticos como por ejemplo: pintura sobre acero y recubrimientos galvanizados sobre acero.

2) Detectar grietas y medir la profundidad de ellas con el fin de determinar su grado de peligrosidad y evitar posibles fallas o rupturas.

TIPOS.-

Las pruebas por corrientes de Eddy son de dos tipos:

1) Medición de espesores de recubrimientos con el instrumento Monimeter 2.094 del Dr. Förster.

- 2) Detección de profundidades de grietas con el Defecto meter 2.164 del Dr. Förster.

PROCEDIMIENTO.-

1.- **Espesor de recubrimientos.**

Se calibra el Monimeter con hojas de plástico de espesor conocido, se procede a aplicar sobre la superficie un palpador de punta o plano que emite un campo magnético de alta frecuencia, que al ser recuperado indica en el monitor el espesor del recubrimiento.

2.- **Profundidad de grietas.**

Se calibra el Defectometer sobre una muestra del material y se ajusta al límite de detección, esto es, al tamaño mínimo de la grieta que se desea detectar, se aplica el palpador correspondiente el cual emite un campo magnético que al recuperarse indica en el instrumento la profundidad de la grieta detectada.

7.12.- MEDICION DE DUREZAS.-

Uso.-

Estas pruebas se aplican cuando se requiere información sobre las propiedades mecánicas y de tratamiento térmico de piezas metálicas, con el objeto de verificar que cubran las especificaciones de calidad o de determinar las causas de una falla o ruptura por deficiencias en las propiedades mecánicas de los materiales que ofrecen la ventaja de poder realizarse en el campo con equipo portátil.

TIPOS.-

De acuerdo con las especificaciones de calidad del material o del código ASTM y atendiendo a su rango de dureza, se aplican pruebas de dureza BRINELL o pruebas de dureza VICKERS.

PROCEDIMIENTO.-

1.-BRINELL.-

Consiste en la aplicación de una carga variable de 500, - 750, 1000 ó 3000 Kgs., sobre una bola metálica de 5 ó 10 mm. que se coloca sobre la zona en prueba, hecho esto se procede a medir el diámetro de la huella con un microscopio portátil dotado en su interior de una escala de medición.

2.-VICKERS.

Mediante el instrumento Penetrascopio se aplica una carga variable de 10 a 50 Kgs. sobre una pirámide de diamante - que se coloca sobre la zona en prueba, hecho esto se procede a medir el promedio de las dos diagonales de la impresión, la cual se interpreta en una tabla de dureza; un - ejemplo es la medición de dureza Vickers en el domo de - una caldera.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Para obtener de la Caldera los resultados previstos, es necesario que sean respetadas las condiciones para las cuales ha sido calculada y mantenerla en buenas condiciones por medio de un mantenimiento apropiado.

El buen funcionamiento, la disponibilidad y la duración de una Caldera, dependen en gran parte de la aplicación y la habilidad del operador, en el desarrollo de sus deberes diarios, así como de su preparación y rapidez en hacer frente a todas las evidencias que pudieran ocurrir.

Cuando el equipo es nuevo, se podrá establecer una norma de operación y cualquier desviación podrá servir como indicio de una condición indeseable, tan pronto como ésta se presente, deberán darse los pasos necesarios para determinar y corregir las causas de la discrepancia: frecuentemente esto evita que sobrevengan dificultades.

El mantenimiento previo y los registros de predicción son una de las fases más importantes de una buena conservación del equipo. Este trabajo se desarrolla en un tiempo que se justifica por los buenos resultados obtenidos.

Es imprescindible mantener un registro continuo para contar con un historial de la Caldera. Los Registros de operación deben conservarse en una forma tal, que faciliten las comparaciones de las condiciones de operación en cualquier momento

El Inspector de la Planta, debe tener un registro con todos los datos importantes relacionados con la unidad generadora de vapor, tales como los de diseño, espesores originales -

de todas las partes, antigüedad, espesores de retiro, condiciones de operación, peculiaridades de los defectos previamente notados, reparaciones y modificaciones hechas las cuales ayudan en la inspección.

Las obligaciones del Inspector son las de llevar reportes con los datos completos sobre cada inspección practicada

En una forma simplificada deberá rendirse al personal interesado reportando en ella las condiciones presentadas, los requerimientos futuros en cuanto a mantenimiento y a la vida se parada del equipo.

Es impráctico caloular la justificación económica que representa la inspección de un determinado equipo con fines de mantenimiento preventivo; ya que los daños que se pueden ocacig nar sin la inspección van desde roturas hasta las explosiones.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "Termodinámico" - V.M. Faires.
- 2.- Energía mediante vapor, aire ó gas. - W.H. Severns.
- 3.- Apuntes del curso "Diseño, - Operación y Mantenimiento de Calderas". - Centro de Educación continua.
- 4.- Centrales de vapor. - G.A. Gaffert.
- 5.- Plantas de Vapor". - Charles D. Swift.
- 6.- Calderas. - Carl D. Shields.
- 7.- Manual de tratamiento de - agua. - Depto. de Sanidad del Edo. de Nueva York.
- 8.- Apuntes de la Refinería - - "Gral. Lázaro Cárdenas". - Minatitlán, Ver.
- 9.- Instructivo de Mantenimiento Preventivo. - Secretaría de Recursos Hidráulicos.

L