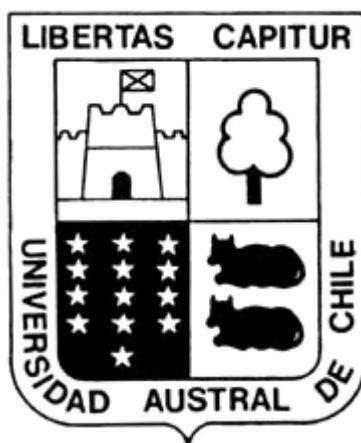


UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA NAVAL



“INSPECCIÓN Y MANTENCIÓN DE CALDERAS MARINAS AUXILIARES”

Tesis para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la
Ingeniería.

PROFESOR PATROCINANTE

Sr. Mario Loaiza Ojeda.

Ingeniero en Maquinas Marinas

VICTOR JAVIER VIDAL MANSILLA

-2006-

Esta Tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La Tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el título de **Ingeniero Naval**, mención **Máquinas Marinas**.

EXAMEN DE TITULO:

| | | | |
|--------------------------|-----------------|---|-------|
| Nota de Presentación | (Ponderada) (1) | : | 4,204 |
| Nota de Examen | (Ponderada) (2) | : | 1,266 |
| Nota Final de Titulación | (1 + 2) | : | 5,55 |

COMISION EXAMINADORA:

PROF. DR. HECTOR NORIEGA
DECANO (S)



[Signature]
FIRMA

PROF. MARIO LOAIZA O.
EXAMINADOR

[Signature]
FIRMA

PROF. ELIAS CARREASCO M.
EXAMINADOR

[Signature]
FIRMA

PROF. HECTOR LEGUE L.
EXAMINADOR

[Signature]
FIRMA

PROF. MILTON LEMARIE O.
SECRETARIO ACADEMICO

[Signature]
FIRMA

Valdivia, SEPTIEMBRE 01 DE 2006

Nota de Presentación = $NC/NA * 0,6 + \text{Nota de Tesis} * 0,2$
Nota Final = $\text{Nota de Presentación} + \text{Nota Examen} * 0,2$
NC = Sumatoria Notas de Currículo, sin Tesis
NA = Número de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida Práctica Profesional.

Dedicado a...

Mis padres, quienes por sobre todos, han hecho posible lo que hace unos años era un sueño, por su esfuerzo, confianza y amor...

Sole y Valentina, por todo el tiempo que hemos sacrificado, para cumplir esta meta, por su paciencia y amor...

Mis hermanos y amigos, quienes hicieron de mi paso por la Universidad, lo que sin duda será una de las etapas más felices y enriquecedoras de mi vida...

Por y para todos ellos... muchas gracias.

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCION

OBJETIVOS

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE CALDERAS AUXILIARES

| | Pagina |
|----------|---|
| 1.1. | Fundamentos Sobre la Generación de Vapor.....1 |
| 1.1.1. | Calor.....1 |
| 1.1.2. | Temperatura.....2 |
| 1.1.3. | Presión.....3 |
| 1.1.4. | Producción del Vapor.....4 |
| 1.1.5. | Tipos de Vapor.....4 |
| 1.2. | Clasificación de Calderas.....5 |
| 1.2.1. | Factores de Clasificación.....6 |
| 1.3. | Calderas Marinas.....8 |
| 1.3.1. | Caldera Mixta.....9 |
| 1.3.2. | Caldera Compuesta.....9 |
| 1.3.3. | Sistemas de Calderas Combinadas.....10 |
| 1.3.3.1. | Sistemas de Bajo Grado de Utilización de los Gases de Escape.....11 |
| 1.3.3.2. | Sistemas de Alto Grado de Utilización de los Gases de Escape.....13 |
| 1.3.3.3. | Principales Componentes de una Caldera Tipo EXPRESS.....15 |
| 1.3.3.4. | Componentes de una Planta Generadora de Vapor.....17 |
| 1.4. | Partes Principales de una Caldera Auxiliar.....20 |
| 1.4.1. | Hogar o Fogón.....20 |
| 1.4.2. | Colectores.....22 |
| 1.4.3. | Tubos.....23 |
| 1.4.4. | Aislantes y Refractarios.....23 |

| | | |
|--------|--------------------------------------|----|
| 1.4.5. | Tapas de registro..... | 24 |
| 1.5. | Accesorios de Calderas Marinas..... | 26 |
| 1.5.1. | Válvulas de Calderas..... | 26 |
| 1.5.2. | Niveles de Agua..... | 29 |
| 1.5.3. | Regulador de Alimentación..... | 30 |
| 1.5.4. | Soplador de Hollín (Sootblower)..... | 32 |
| 1.5.5. | Quemador..... | 33 |

CAPITULO II

INSPECCION DE CALDERAS MARINAS AUXILIARES

| | | |
|----------|---|----|
| 2.1. | Introducción..... | 36 |
| 2.2. | Importancia de las Inspecciones..... | 36 |
| 2.3. | Frecuencia de las Inspecciones..... | 37 |
| 2.4. | Inspección de Superficies Expuestas al Fuego en una Caldera Auxiliar..... | 38 |
| 2.4.1. | Inspección del Refractario..... | 38 |
| 2.4.2. | Inspección de Tubos y Placas..... | 39 |
| 2.4.2.1. | Depósitos en Lado de Gases..... | 39 |
| 2.4.2.2. | Corrosión del Lado de Gases..... | 40 |
| 2.4.2.3. | Deformaciones y Fracturas de Tubos..... | 42 |
| 2.5. | Inspección de Zonas de Agua en un Caldera Auxiliar..... | 43 |
| 2.5.1. | Depósitos Sólidos y Fangosos..... | 44 |
| 2.5.2. | Corrosión Ácida..... | 44 |
| 2.5.3. | Corrosión Cáustica..... | 45 |
| 2.5.4. | Corrosión por Oxígeno..... | 46 |
| 2.5.5. | Contaminación por Aceite..... | 47 |
| 2.6. | Inspección de Accesorios de Calderas Marinas..... | 48 |
| 2.6.1. | Válvulas de Calderas..... | 48 |
| 2.6.2. | Niveles de Agua..... | 49 |
| 2.6.3. | Reguladores de Alimentación..... | 49 |
| 2.6.4. | Quemadores..... | 49 |
| 2.6.5. | Sopladores de Hollín..... | 50 |
| 2.7. | Prueba Hidrostática..... | 50 |
| 2.7.1. | Procedimiento Para Realizar la Prueba Hidrostática..... | 52 |

CAPITULO III

MANTENCION DE CALDERAS AUXILIARES

| | | |
|---------------|---|----|
| 3.1. | Introducción..... | 55 |
| 3.2. | Limpieza del Lado de Gases de la Caldera..... | 55 |
| 3.3. | Limpieza del Lado de Agua de la Caldera..... | 57 |
| 3.3.1. | Limpieza Mecánica (Escobillado)..... | 58 |
| 3.3.2. | Lavado con Agua a Presion..... | 59 |
| 3.3.3. | Hervido de la Caldera..... | 60 |
| 3.4. | Reparación del Refractario..... | 61 |
| 3.5. | Reparación de Tubos..... | 64 |
| 3.5.1. | Taponeado de Tubos..... | 64 |
| 3.5.2. | Recambio de Tubos..... | 65 |
| 3.6. | Mantención del Agua de Calderas Auxiliares..... | 66 |

CAPITULO IV

MANTENCION DE ACCESORIOS DE CALDERAS AUXILIARES

| | | |
|-------------|--|----|
| 4.1. | Válvulas de Calderas..... | 69 |
| 4.2. | Niveles de Agua (Niveles Locales)..... | 72 |
| 4.3. | Regulador de Alimentación... .. | 75 |
| 4.4. | Quemador..... | 76 |
| 4.5. | Sopladores de Hollín..... | 78 |

CONCLUSIONES

ANEXOS

GLOSARIO DE TERMINOS

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio acerca de las Inspecciones a las que es sometida una Caldera Marina Auxiliar y de los procedimientos de mantención preventiva y correctiva a realizar a bordo, para ello se le entrega al lector una descripción de las Calderas Marinas mas utilizadas actualmente y de sus accesorios principales, además de describir diversos tipos de plantas generadoras de vapor existentes en la actualidad en la Marina Mercante. Con respecto a las inspecciones, el presente trabajo abarca temas como la importancia de estas, las instituciones que las realizan, los procedimientos de Inspección y Prueba Hidrostatica, las fallas y defectos detectados más frecuentemente junto con sus causas y efectos. Por ultimo los capítulos III y IV brindan al lector una visión de los principales procedimientos de mantención preventiva y correctiva realizados a bordo por el Ingeniero de Maquinas.

SUMMARY

The present work is a study of the Surveys applied to Auxiliary Marine Boilers and his accessories, and about the preventive and corrective maintenance procedures to realize on board, for that describes the most utilized Marine Boilers and their main accessories, also describes the different kinds of steam generator plants utilized in the Merchant Marine. About the Surveys, the present work describes the important of those, the institutions who made them, Hydrostatic Test and Survey procedures, the most common faults and failures with their causes and effects. Finally the chapters III and IV describe the main, preventive and corrective maintenance procedures to realize on board by the Marine Engineer.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la propulsión de buques mercantes mediante motores de combustión interna a desplazado por completo a la propulsión a vapor, sin embargo esto no a derivado en la desaparición de las calderas navales, por el contrario estas se han mantenido vigentes en la industria naval sobre todo como calderas auxiliares, gracias a las múltiples aplicaciones del vapor a bordo, siendo la mas importante y crucial para la navegación, el calentamiento del combustible.

Por lo tanto, una de las tareas primordiales del Ingeniero de Maquinas es encargarse de su correcta mantención. Además de la constante vigilancia de las condiciones de funcionamiento del equipo por parte del ingeniero a cargo, existen otras inspecciones realizadas a las calderas, las cuales son llevadas a cabo por personas ajenas a la tripulación, entre estas se encuentran los inspectores de las Casas Clasificadoras y de la Autoridad Marítima.

Las inspecciones realizadas a las Calderas Marinas se llevan a cabo en puerto durante periodos en los cuales la caldera se encuentra fuera de servicio, con una frecuencia establecida por cada institución, en estas inspecciones se busca evaluar las condiciones en las cuales se encuentra la caldera. Lo anterior tiene dos objetivos, el primero es determinar si puede seguir funcionando de forma segura o si requiere de alguna reparación antes de su puesta en servicio, y el segundo objetivo es el de la clasificación a la cual es sometida.

Si bien al hablar de Inspecciones, lo primero en lo que se piensa es la Clasificación de los equipos, es necesario recalcar que lo mas importante de las inspecciones es que le permiten al ingeniero de maquinas, tener una buena visión de las condiciones de operación y seguridad en las cuales están trabajando tanto los equipos como el personal a su cargo.

OBJETIVOS

Los principales objetivos que persigue este trabajo son , explicar al lector los distintos ítems que se deben cubrir durante el desarrollo de una inspección a una Caldera Auxiliar, para esto se describen los principales tipos de calderas marinas utilizadas en la actualidad , las instituciones que norman los procedimientos de inspección , los periodos de tiempo entre inspecciones , las fallas mas frecuentes detectadas en estas junto con sus causas y efectos , por ultimo se describirán diversos procedimientos de mantención que se llevan a cabo abordo por parte de los Ingenieros de Maquinas.

CAPITULO I: GENERALIDADES SOBRE CALDERAS

1.1.- Fundamentos Sobre la Generación de Vapor

1.1.1.- Calor

El calor es una forma de energía. Todos los cuerpos están formados por moléculas, las que siempre están en movimiento. El calor es justamente esto; una manifestación del movimiento de las moléculas de los cuerpos. Mientras mas rápido se muevan las moléculas de un cuerpo, mas caliente estará el cuerpo.

El calor es una forma de energía, es decir tiene capacidad para producir un efecto sobre la materia. Los más conocidos del calor son:

- Cambios de estado físico como fundir cuerpos sólidos y evaporar los líquidos.
- Cambios de volumen como dilatar sólidos, líquidos y gases.
- Cambiar el color de los cuerpos.

Todo cuerpo capaz de calentar a otro es considerado como una fuente de calor. Para que un cuerpo caliente a otro es necesario que le transmita o traspase su calor.

El calor se puede transmitir de tres maneras:

Conducción : Es la propagación del calor en los cuerpos sólidos. Puede ser de un extremo a otro de un cuerpo a través del mismo, o bien, de un cuerpo caliente a otro mas frío, estando en contacto.

Radiación : Es la transmisión del calor por medio de ondas sin la necesidad de un medio material que lo transmita.

Convección : Es una forma de transmisión del calor que se presenta en los líquidos y gases por la formación de corrientes ascendentes producidas por la diferencia de temperatura.

El calor se transmite de un cuerpo a otro cuando entre ambos hay una diferencia de temperatura y se transmite desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura hasta alcanzar el equilibrio térmico.

La conductividad térmica varía de una sustancia a otra. Así por ejemplo un trozo de metal transmite mejor el calor que la porcelana o el asbesto.

Para una misma sustancia, la conductividad térmica también varía según la temperatura y la humedad.

Hay dos cosas que se pueden medir del calor:

- **La Cantidad de Calor.**
- **La Temperatura.**

Cantidad de Calor: es la energía que contiene un cuerpo o sustancia, se mide en calorías por unidad de masa. Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 cm³ (1 gramo) de agua en 1° C.

En el sistema Inglés, para medir cantidades de calor se usa la unidad BTU, que es igual a la cantidad de calor que se necesita para elevar la temperatura de una libra de agua en 1° F.

Calor Sensible: Es la cantidad de calor necesaria para calentar 1Kg. De agua desde 0° a 100 °C. Como una kilocaloría alcanza para subir en 1°C la temperatura de un litro de agua, el calor sensible para el agua a presión atmosférica normal es de 100 kilocalorías.

Calor Latente: Es la cantidad de calor necesaria para convertir 1Kg. De agua que está a 100°C en vapor de agua a la misma temperatura. El calor latente vale 537 a 539 kilocalorías para el agua a presión atmosférica normal.

Calor Total de Vaporización: Es la suma del calor sensible y el calor latente, es decir, es la cantidad de calor necesaria para transformar un kilo de agua que está a 0°C en vapor de agua. A la presión atmosférica normal y 100°C de temperatura, el calor total de vaporización vale 637 a 639 kilocalorías (537 a 539 Kcal + 100 Kcal).

1.1.2.- **Temperatura**

La temperatura es el nivel calórico de un cuerpo, sin importar la cantidad de calor que este contenga. La temperatura se mide en grados, existen distintas escalas pero las más utilizadas son los grados Centígrados o Celsius (°C) en el sistema Métrico, y los grados Fahrenheit (°F) en el sistema Inglés.

Conversión de Grados Fahrenheit a Grados Celsius:

$$^{\circ}\text{C} = \left(\frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9} \right) \times 5$$

Conversión de Grados Celsius a Grados Fahrenheit:

$$^{\circ}\text{F} = \left(\frac{9}{5} \times ^{\circ}\text{C} \right) + 32$$

Los instrumentos para medir la temperatura se llaman termómetros, y los más comunes son los de mercurio. El requisito fundamental es que empleen una propiedad fácil de medir (como la longitud de una columna de mercurio) que cambie de forma marcada y predecible al variar la temperatura. Además, el cambio de esta propiedad termométrica debe ser lo más lineal posible con respecto a la variación de temperatura. En otras palabras, un cambio de dos grados en la temperatura debe provocar una variación en la propiedad termométrica dos veces mayor que un cambio de un grado, un cambio de tres grados una variación tres veces mayor, y así sucesivamente.

Para temperaturas altas (sobre los 500°C) se utilizan instrumentos llamados pirómetros, los más comunes son los pirómetros eléctricos. La resistencia eléctrica de un conductor varía con la temperatura. En este fenómeno se basa el pirómetro eléctrico, en el que se aplica una tensión eléctrica constante al elemento sensor. Para un elemento sensor dado, a cada temperatura le corresponde una resistencia eléctrica diferente. La resistencia se puede medir, lo que permite hallar la temperatura. El pirómetro se emplea para medir temperaturas que superan los 500 °C, cuando la mayoría de los termómetros se fundiría.

1.1.3.- Presión

La presión es otro factor importante que influye en la generación del vapor, y esta definida como la fuerza ejercida por unidad de superficie, es decir si se aplica una fuerza de 10 Kgs, en una superficie de 5 cm² se está ejerciendo una presión de 2 Kgs, por cada cm².

En el sistema Métrico la unidad más usada es el Kg. /cm². Mientras que en el sistema Inglés se usa la lb. / pulg² (PSI).

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kg} / \text{cm}^2 &= 14.22 \text{ lb} / \text{pulg}^2 \\ 1 \text{ lb} / \text{pulg}^2 &= 0.0702 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \\ 1 \text{ Atm} &= 1.033 \text{ Kg} / \text{cm}^2 \\ 1 \text{ Atm} &= 14.7 \text{ lb} / \text{pulg}^2 \end{aligned}$$

Presión Atmosférica : Es la presión que ejerce sobre la tierra, el aire que la rodea. Varía para cada lugar según sea su ubicación con respecto al nivel del mar. Para su medición se utilizan Barómetros.

Presión Efectiva : Es la presión existente en el interior de un recipiente cerrado. Para su medición se utilizan Manómetros.

Presión Absoluta: Es la suma de la Presión Atmosférica y la Presión Efectiva.

1.1.4.- **Producción del Vapor**

El paso del agua del estado líquido al de vapor recibe el nombre de vaporización, lo cual puede ocurrir de dos maneras:

- **Por Evaporación.**
- **Por Ebullición.**

Evaporación es la producción lenta de vapor en la superficie libre de un líquido y se realiza a cualquier temperatura superior a 0 °C.

Ebullición es la producción rápida de vapor a la temperatura de ebullición del agua, correspondiente a su presión. Esta es la forma de producción de vapor en las calderas, para fines industriales.

1.1.5.- **Tipos de Vapor**

a) **Vapor Saturado**

Es el vapor producido a la temperatura de ebullición del agua. Este vapor puede estar exento completamente de partículas de agua sin vaporizar o puede llevarla en suspensión. Por esta razón el vapor saturado puede ser seco o húmedo.

b) **Vapor Sobrecalentado**

Si al vapor de agua saturado se le aplica calor adicional, manteniendo constante su presión, se puede obtener un vapor seco a mayor temperatura, llamado Vapor Sobrecalentado.

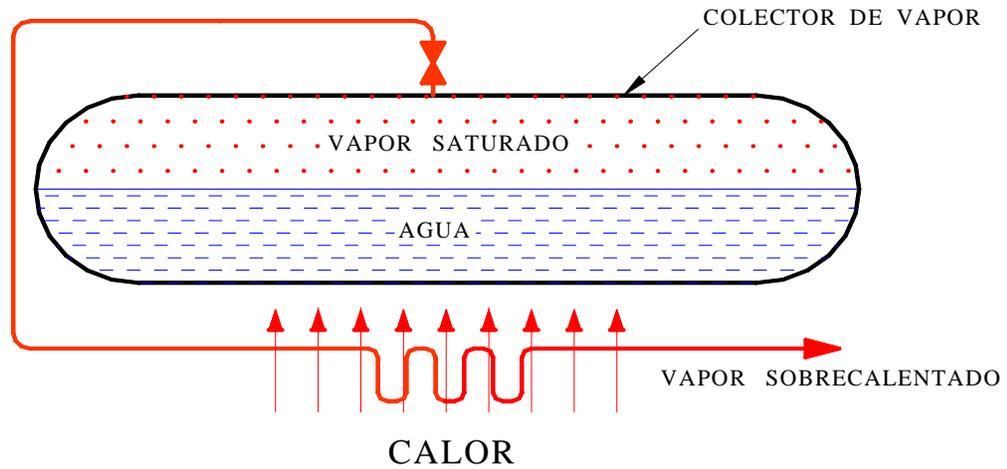


Figura N° 1

1.2.- Clasificación de Calderas

Se define como caldera a todo recipiente metálico, cerrado, destinado a la producción de vapor o al calentamiento de agua, mediante la acción del calor a una temperatura mayor que la del ambiente y a una presión mayor que la atmosférica.

La clasificación de calderas se basa en varios factores propios del diseño y uso de estos equipos, tales como tipo de combustible que utilizan, presión a la que trabajan, volumen de agua, forma de calefacción, etcétera.

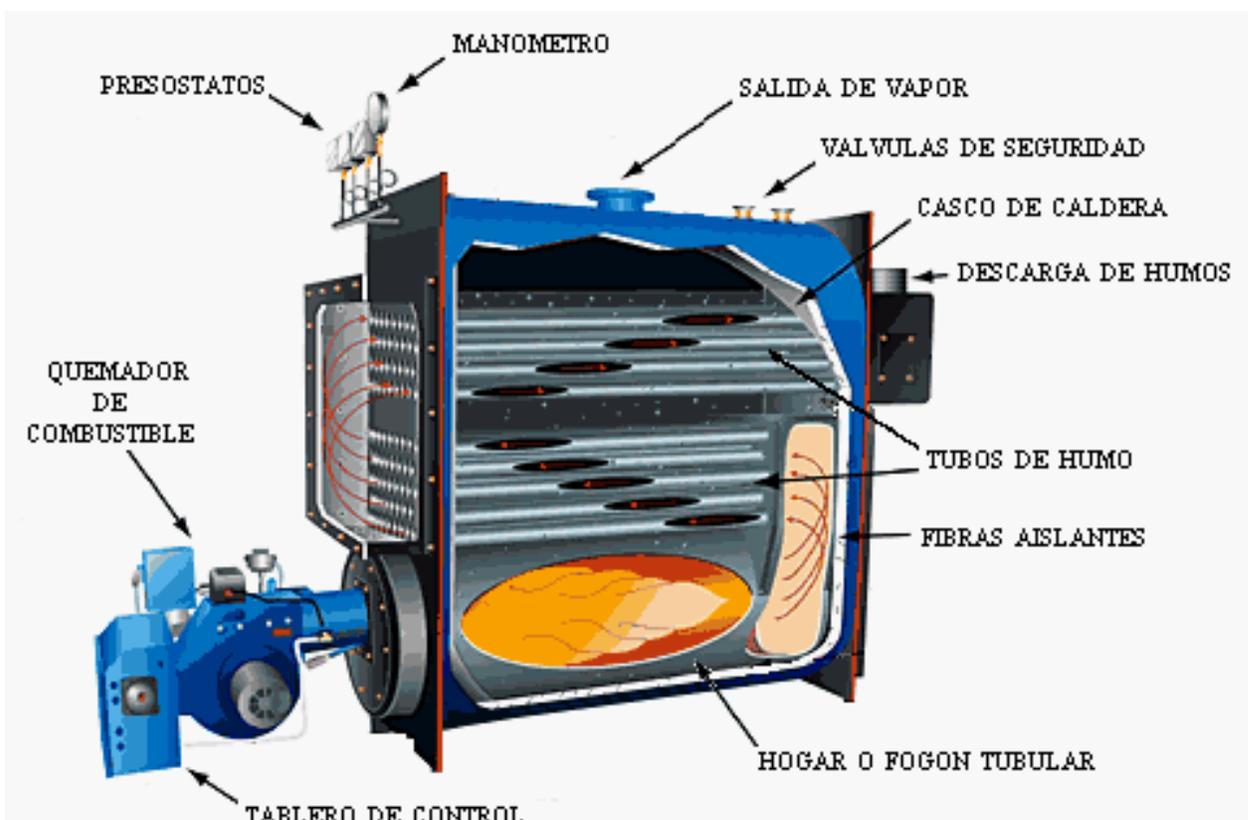


Figura N° 2 Principales Componentes de Caldera Tipo "Escocesa"

Cada fabricante ha tomado o seleccionado algunos de estos aspectos, creando tipos de calderas que han llegado a popularizarse en el ambiente industrial. Así se tiene, por ejemplo, las calderas escocesas que son calderas horizontales, con tubos múltiples de humo, de hogar interior, de uno o más pasos, y que pueden quemar combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Ver **Figura N°2**.

1.2.1.- Factores de Clasificación

a) **Posición**.- Según este factor y atendiendo a la forma en que va ubicado el recipiente estas pueden ser:

- Horizontales.
- Verticales.

b) **Instalación**.- Según este factor se clasifican en:

- Fijas o Estacionarias.
- Semi-fijas.
- Móviles o Portátiles.

c) **Circulación de Gases**.- Se refiere al numero de recorridas de los gases en el interior de la caldera antes de salir por la chimenea. De acuerdo a esto pueden ser:

- De un Paso (llama directa o recorrido en un sentido).
- De dos Pasos (llama de retorno o de retorno simple).
- De tres Pasos (llama de doble retorno).
- De cuatro Pasos.

d) **Circulación de agua**.- Se refiere a la forma en que circula el agua en una caldera, existen distintos tipos de circulación, por ejemplo:

- De **circulación natural**. (El agua circula por el interior de la caldera debido a los cambios en la densidad producidos por el calor absorbido por el agua.)
- De **circulación forzada**. (El agua es forzada a circular por los tubos de la caldera por medio de una bomba.)

e) **Volumen de Agua.**- Esto es según la relación que existe entre la capacidad de agua de la caldera y su superficie de calefacción. Así se tiene calderas:

- De alto volumen de agua (mas de 150 lts, por cada m² de superficie de calefacción).
- De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 lts, por cada m² de superficie de calefacción).
- De bajo volumen de agua (menos de 70lts, por cada m² de superficie de calefacción).

f) **Tipo de Combustible.**- Para su funcionamiento, las calderas pueden utilizar diferentes tipos de combustibles. Según esto existen calderas:

- De combustible sólido.
- De combustible líquido.
- De combustible gaseoso.
- Mixtas.

Además existen calderas que obtienen el calor necesario de otras fuentes de calor tales como gases calientes residuales de otras reacciones químicas, de la aplicación de energía eléctrica o del empleo de energía nuclear.

g) **Presión.**- Según la presión máxima de trabajo. Las calderas se clasifican en:

- Calderas de baja presión (presión máxima de trabajo 2 Kg. / cm²).
- Calderas de presión mediana (entre 2 y 10 Kg. / cm²).
- Calderas de alta presión (presión de trabajo mayor a 10 Kg. / cm²).

h) **Forma de Calefacción.**- Generalmente las calderas están compuestas de tubos. Según sea el fluido que circula en su interior, se clasifican en:

- **De Tubos de Humo o Piro tubulares** (cuando por el interior de los tubos circulan los gases calientes de la Combustión).
- **De Tubos de Agua o Acuotubulares** (cuando por el interior de los tubos circula agua mientras que la superficie externa esta en contacto con los gases).
- **Mixtas**, son aquellas que tienen tubos de agua y de humo.

1.3.- Calderas Marinas Auxiliares

Se define a una Caldera Marina Auxiliar como una caldera de media presión, que se utiliza a bordo de buques propulsados por motores Diesel, y que tienen por objeto prestar servicios de calefacción y en algunos casos generar energía eléctrica.

Debido a que en los buques mercantes existen servicios que requieren de calefacción permanente, es que las plantas generadoras de vapor abordo constan de, una caldera de puerto con quemadores de combustible líquido, mas una caldera de gases, que funciona en navegación con el calor remanente de los gases de escape del motor propulsor. Otra configuración bastante usada consta de una caldera que cumple servicio tanto en navegación como en puerto, utilizando en una sola estructura, gases de escape del motor propulsor y gases calientes de un quemador de combustible líquido.

Siempre que es posible se utilizan a bordo calderas ya probadas en servicio en tierra, tomando las debidas precauciones para que ángulos de escora pronunciados no dejen al descubierto algún tubo. Sin embargo, consideraciones de espacio han obligado a la industria naval a inclinarse mayormente al uso de calderas de desarrollo vertical. Una caldera típica, es la representada en la **Figura N°3**. Esta caldera con tubos cortos facilita enormemente la inspección de tubos a través de los registros de la cámara de gases, además se destaca por ser muy económica ya que cuando se encuentra en servicio de puerto, con encendido de combustible, la superficie de calefacción se obtiene en gran parte a través del domo del fogón, siempre de menor costo que los tubos, lo anterior la convierte en una de las opciones mas utilizadas en las plantas navales de generación de vapor.

La generación de vapor a bordo es llevada a cabo de varias maneras según el tipo de buque, la demanda de vapor, la potencia del motor principal y otras consideraciones.

A continuación se describen los sistemas de generación de vapor mas utilizados en buques mercantes.

1.3.1.- Caldera Mixta

Este sistema consiste en una caldera vertical, de tubos de humo, donde el haz tubular se calienta en navegación con gases de escape del motor principal, o en puerto encendiendo el quemador de combustible. Es una alternativa bastante económica en caso de que las necesidades de vapor sean mínimas.

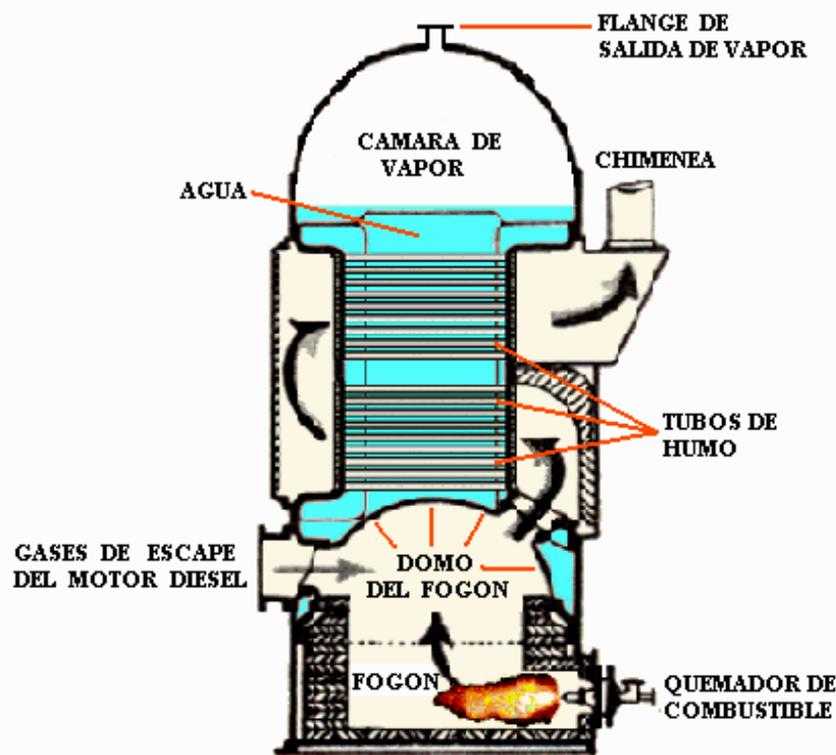


Figura N° 3 Caldera Mixta

1.3.2.- Caldera Compuesta

En este sistema (**Figura N°4**), la caldera esta compuesta por dos secciones de tubos de humo, uno de gases de escape y el otro de gases calientes del quemador, las superficies de calefacción para gases de escape del motor y gases de combustión de la propia caldera son diferentes, permitiendo la generación de vapor utilizando solo los gases de escape, el quemador o ambas fuentes de calor simultáneamente.

Para necesidades de vapor comprendidas entre 1 a 4 t/hr. Representa una solución óptima desde el punto de vista económico porque cubre en un porcentaje muy elevado las necesidades de vapor durante navegación utilizando únicamente gases de escape, en puerto utiliza el quemador de combustible, y en caso de consumo elevado durante la navegación puede combinar ambas fuentes de calor.

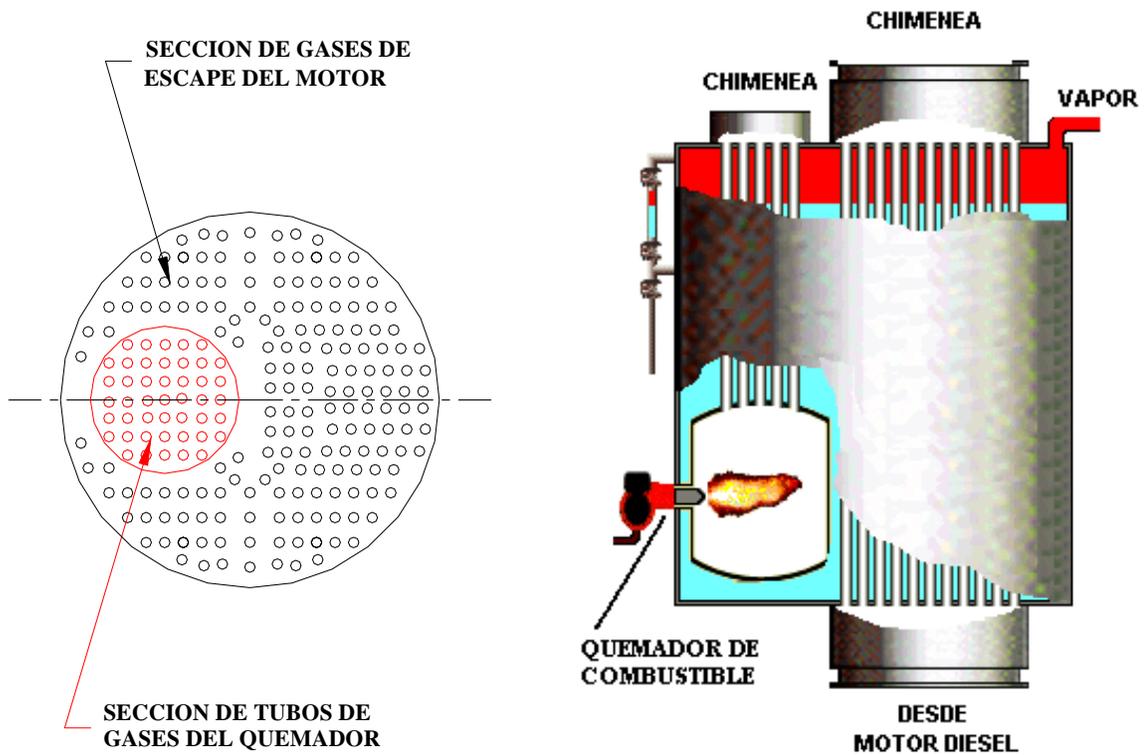


Figura N° 4 Caldera Compuesta

1.3.3.- Sistemas de Calderas Combinadas

El termino de Calderas Combinadas se aplica a las plantas generadoras de vapor, en las cuales, la caldera de gases y la caldera de puerto se encuentran separadas, es decir, son dos estructuras diferentes, las cuales pueden producir vapor en forma conjunta en caso de ser necesario.

Podemos clasificar los sistemas de calderas combinadas en dos categorías:

- **Sistemas de Bajo Grado de Utilización de los Gases de Escape.**
- **Sistemas de Alto Grado de Utilización de los Gases de Escape.**

Un sistema de bajo grado de utilización de los gases de escape normalmente solo producirá vapor saturado para los requerimientos de sala de máquinas, calefacción y servicios, mientras que un sistema de alto grado de utilización de los gases de escape normalmente también incorpora la producción de vapor recalentado, el que suele alimentar un turbogenerador.

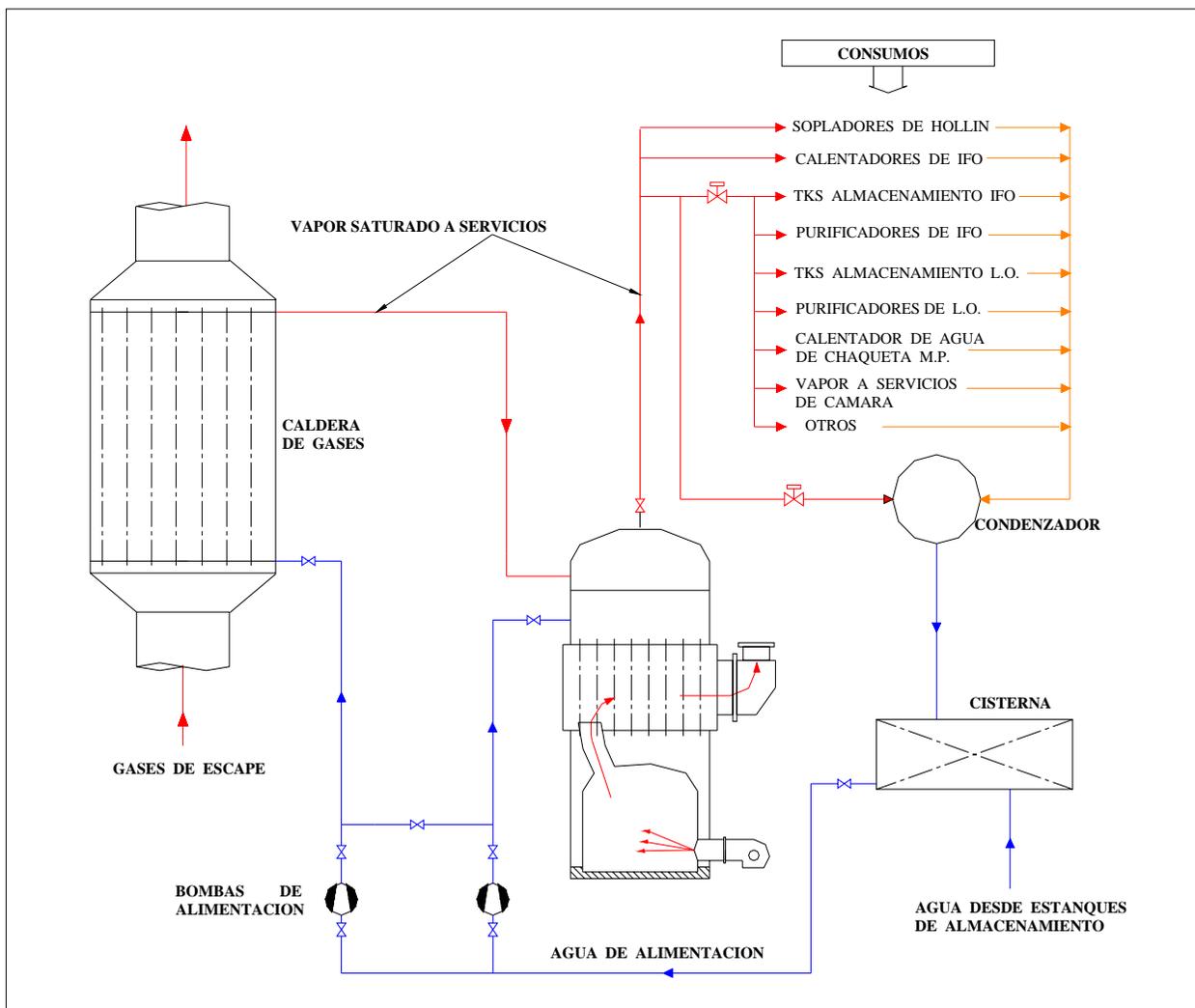
En ambos casos la producción de vapor depende de los siguientes parámetros:

- Temperatura de los gases de escape antes de la caldera.
- Limite bajo de temperatura de los gases de escape.
- Cantidad de los gases de escape.
- Presión de vapor.
- Sistema de caldera de los gases de escape.

1.3.3.1.- Sistemas de Bajo Grado de Utilización de los Gases de Escape

Los sistemas de bajo grado de utilización de los gases de escape, según el tipo de caldera de gases, pueden ser de dos tipos:

a) De Caldera de gases Piro-tubular (o de Tubos de Humo).



Planta Generadora de Vapor Saturado con Caldera de Gases Piro-tubular

Figura N° 5

Este sistema consta de una caldera de gases de escape, pirotubular, vertical, comunicada a una caldera vertical de tubos de agua la cual durante la navegación actúa como colector de vapor, esta disposición representa una mayor seguridad de funcionamiento, pero con un mayor costo inicial.

Estas dos calderas pueden generar vapor en forma conjunta de ser necesario aunque por lo general se alternan en sus funciones, es decir, la caldera de gases trabaja en navegación, mientras la caldera de puerto funciona cuando el motor esta detenido. Como se observa en la **Figura N°5**, además de estar comunicadas por la línea de vapor, ambas calderas son alimentadas por las mismas bombas de agua.

b) De Caldera de gases Acuotubular

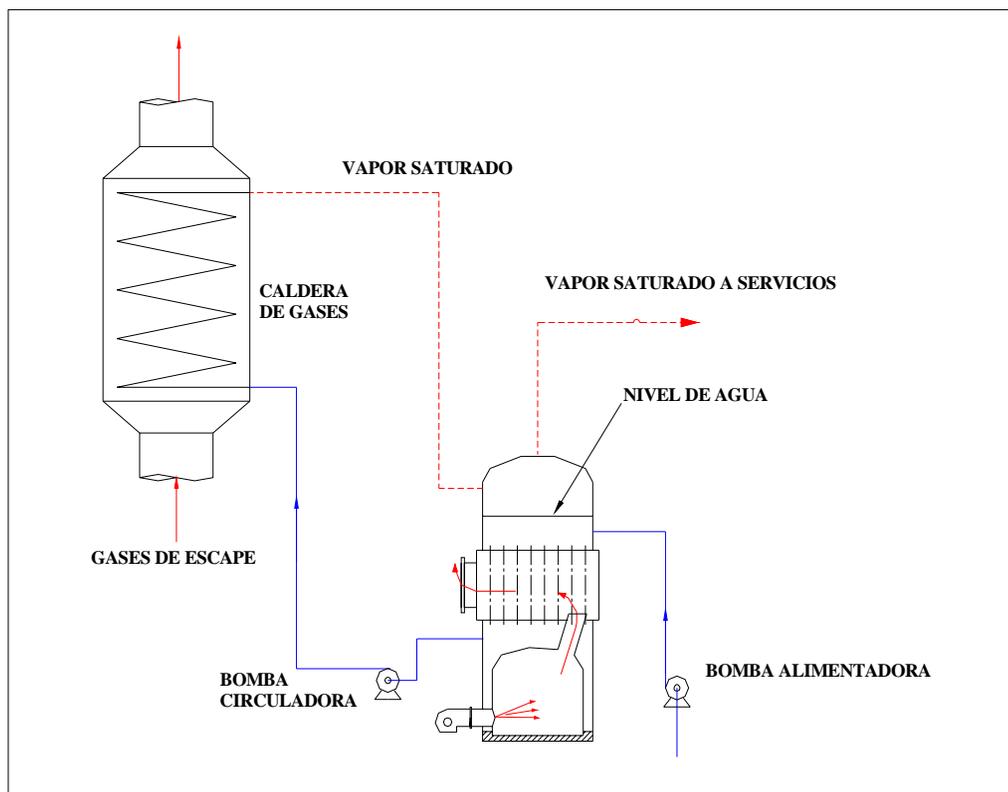


Figura N° 6 Planta Generadora de Vapor con Caldera de Gases Acuotubular

Los sistemas de bajo grado de utilización de los gases de escape son frecuentemente diseñados como se muestra en la **Figura N°6**, con una caldera de gases acuotubular, sin economizador. En este sistema el agua de alimentación es bombeada a la caldera de puerto.

El agua circula desde la caldera de puerto, forzada a través de los tubos de la caldera de gases de escape en la cual absorbe calor para transformarse en una mezcla de agua y vapor saturado, desde ahí se dirige al domo de la caldera de puerto donde se separan el agua y el vapor. El vapor será distribuido a los servicios correspondientes y el agua será recirculada hacia la caldera de gases.

1.3.3.2.- Sistemas de Alto Grado de Utilización de los Gases de Escape

Los sistemas de alto grado de utilización de los gases de escape se caracterizan por contar con un economizador y un sobrecalentador para lograr así una recuperación máxima del calor de los gases de escape como es el caso de las plantas de vapor de buques petroleros, los cuales suelen contar con un turbogenerador y en ocasiones con turbo bombas, los que requieren de vapor sobrecalentado para su funcionamiento.

La caldera de gases de escape esta diseñada en estos casos, de manera que pueda atender a los servicios de navegación incluyendo la generación de energía eléctrica base y excluyendo el calentamiento de carga, lastrado y limpieza de tanques.

Las calderas de puerto se reservan en navegación para estos últimos tres servicios y en puerto para el manejo de la carga, servicios de cubierta, acomodaciones y servicios auxiliares necesarios.

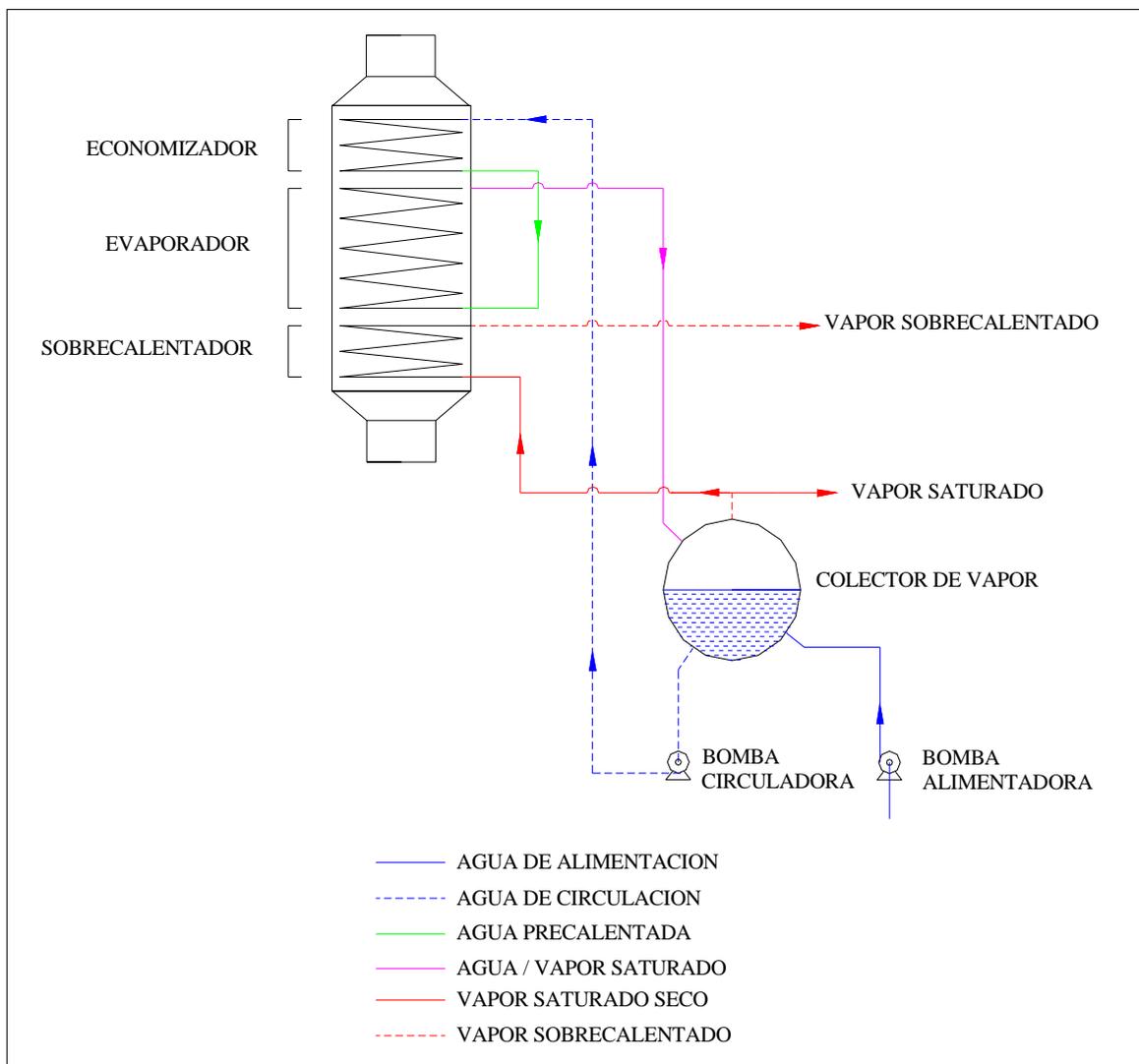


Figura N° 7 Planta Generadora de Vapor Sobrecalentado

El sistema mostrado en la **Figura N°7** es típico de un buque tanque. En el, se hace circular el agua de la caldera mediante una bomba centrífuga, la cual aspira desde el colector de vapor de la caldera de puerto y descarga hacia el economizador donde el agua será precalentada, luego al evaporador desde donde la mezcla de agua y vapor producida en el se dirige al colector de vapor, ahí se separan el agua saturada del vapor saturado.

El agua saturada se mezcla con el agua de alimentación para ser circulada a través de la caldera de gases mientras que el vapor saturado sale del colector de vapor para dirigirse al sobrecalentador y luego a los equipos correspondientes (turbogenerador o turbo bombas).

Los equipos que requieren de vapor saturado son alimentados mediante la línea de vapor saturado que proviene directamente del colector y no del sobrecalentador.

A diferencia de los buques de carga seca o pasaje, un petrolero a de realizar funciones tales como la descarga, calefacción de la carga y limpieza de los estanques, lo que exige una gran cantidad de vapor y por lo tanto una planta generadora de vapor de cierta importancia, aun cuando la propulsión sea diesel.

El nivel de generación de vapor requerido por buques petroleros ha llevado a la utilización de calderas de puerto acuotubulares, como por ejemplo las del tipo EXPRESS mostrada en la **Figura N°8**, debido a que estas superan en rapidez de generación de vapor y pueden trabajar a mayores presiones que las calderas pirotubulares.

1.3.3.3. Principales Componentes de una Caldera tipo EXPRESS

La **Figura N°8** muestra una caldera del tipo EXPRESS las cuales se destacaron en la propulsión de buques a vapor y que hoy día sigue prestando servicios a bordo de grandes petroleros como caldera de puerto (o auxiliar). Las calderas del tipo EXPRESS se caracterizan por poseer una capacidad de generación bastante considerable en relación a su volumen, además de una gran flexibilidad ante los cambios en los consumos de vapor.

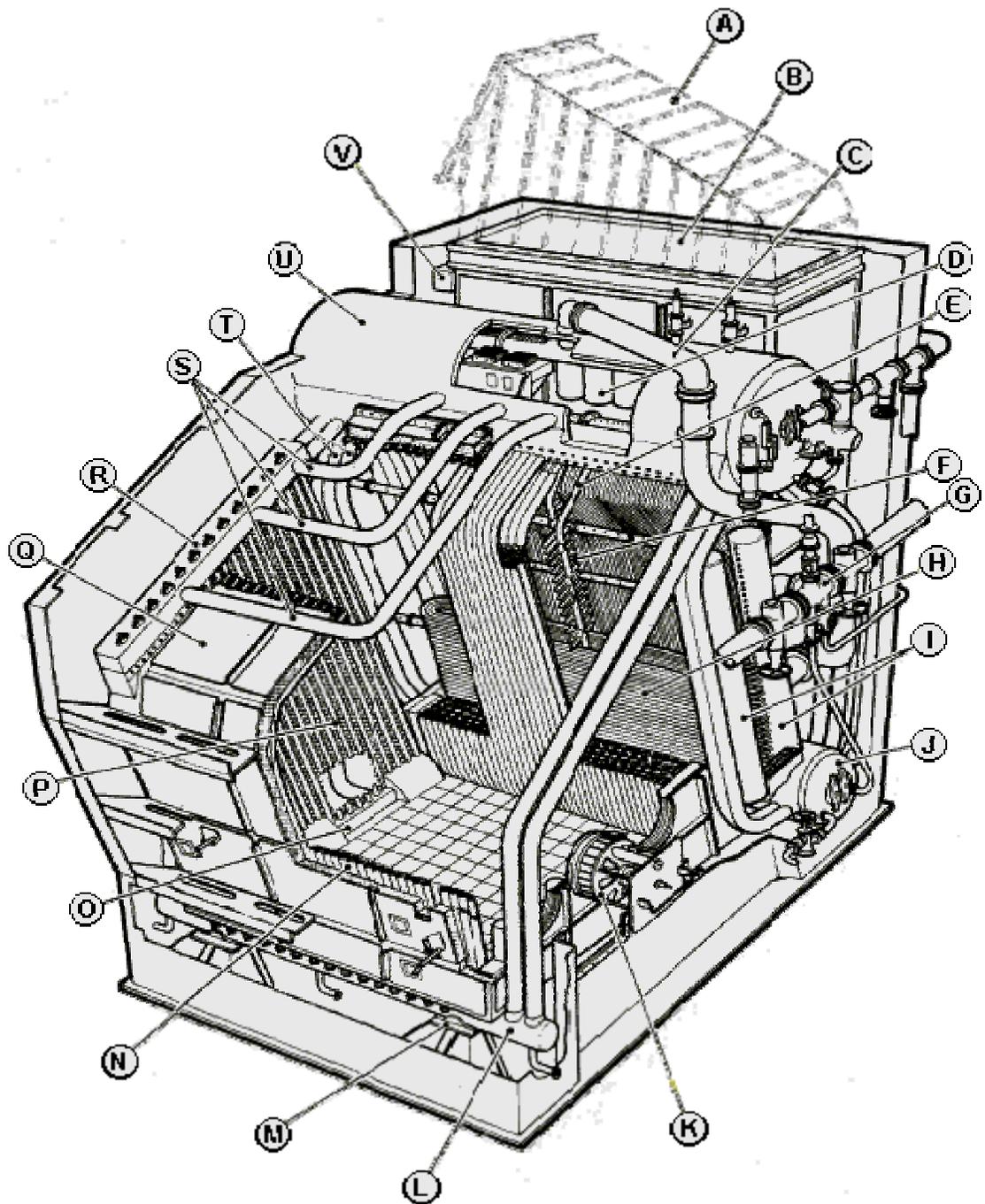


Figura N° 8 Principales Componentes de una Caldera tipo EXPRESS

- A. Chimenea.**
- B. Economizador.**
Intercambiador de calor que transfiere calor de los gases, al agua de alimentación.
- C. Salida de vapor.**
El vapor saturado del colector de vapor se dirige al sobrecalentador.
- D. Separador de humedad de tipo Ciclón.**
Dispositivo que impide que el agua saturada o sólidos se dirijan al sobrecalentador.
- E. Soporte del sobrecalentador.**
- F. Soporte de los tubos del sobrecalentador.**
- G. Descarga de vapor del sobrecalentador.** (Toma principal de vapor)
- H. Sobrecalentador.**
- I. Cabezales del sobrecalentador.**
- J. Colector de agua o fango.**
- K. Quemador.**
- L. Cabezal de los tubos “pared de agua.”**
- M. Soportes de la caldera (caballetes).**
- N. Pared de agua.**
Tubos soldados entre si los cuales forman una pared.
- O. Cabezal de la pared de agua.**
- P. Pared de agua trasera.**
- Q. Techo de la caldera.**
- R. Cabezal de pared de agua.**
- S. Tubos generadores de vapor.**
- T. Tubos de caída.**
- U. Colector de vapor.**
- V. Cabezal del Economizador.**

1.3.3.4. Componentes de Planta Generadora de Vapor

En la **Figura N°7** se ha representado solo el colector de vapor de una caldera de puerto, en el caso de buques tanque suele ocurrir que por la alta demanda de vapor en servicio de puerto durante las faenas de descarga, con frecuencia la planta de vapor cuenta con dos calderas de puerto o auxiliares mas una caldera de gases de escape (**Figura N°9**).

A.- Economizador.

Precalienta el agua de circulación antes de que ingrese a la sección de evaporación.

B.- Evaporador.

Genera una mezcla de vapor y agua, la cual retorna a la caldera.

C.- Sobrecalentador.

Sobrecalienta el vapor que alimenta a la turbina.

D.- Intercambiador de Calor.

Precalienta el agua de alimentación calderas.

E.- Condensador.

Condensa y recicla el vapor que recibe desde la turbina y el exceso de vapor en el sistema.

F.- Bomba de Condensado.

G.- Bomba de Agua de Enfriamiento. (Agua de mar)

H.- Bomba de la Cisterna.

Se encarga de rellenar la cisterna con agua de los estanques principales.

I.- Bomba de Alimentación de Calderas.

J.- Bomba Circuladora de Agua Caliente.

1.- Control de Presión de Vapor. De acuerdo al consumo de vapor, un sensor de caudal ajusta el funcionamiento de los quemadores regulando con ello la presión de vapor.

2.- Control de Nivel de Agua.

3.- Control de Temperatura de Entrada al Economizador.

El agua de alimentación de la caldera es precalentada a fin de aumentar la eficiencia del sistema. El agua de circulación de la caldera de gases calienta el agua de alimentación y la válvula de tres vías en la entrada del intercambiador de calor, controla la temperatura.

4.- Control de Presión del Condensador.

Un sensor de presión evita que el condensado sea enfriado más de lo necesario regulando la válvula de entrada de agua de enfriamiento al intercambiador de calor.

5.- Control de Nivel del Condensador.

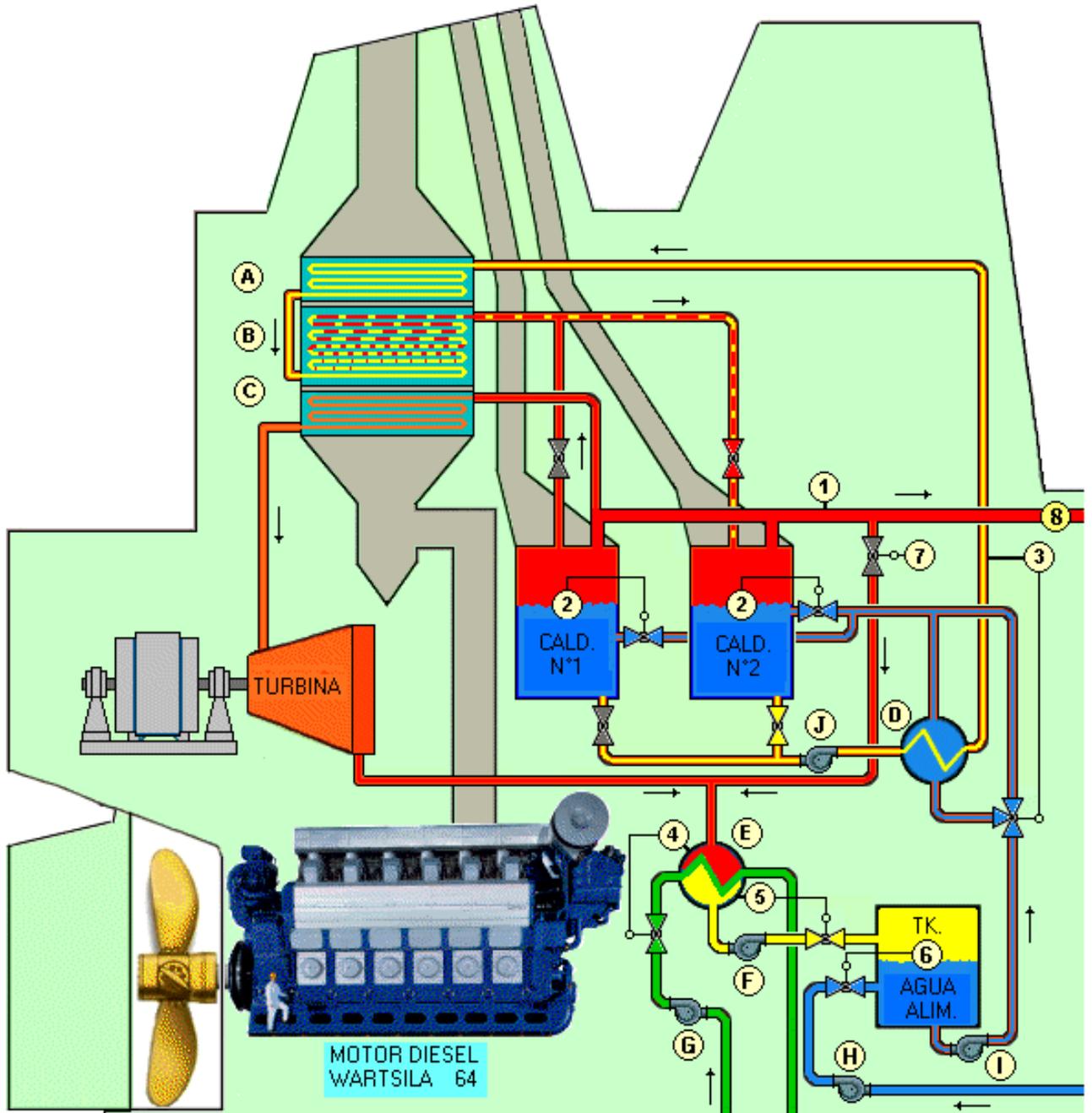
Actúa sobre la válvula de salida del condensador.

6.- Control de Nivel de la Cisterna.

7.- Control del Exceso de Vapor.

Desvía el exceso de vapor al condensador cuando la generación de vapor es mayor a la demanda de este.

8.- Línea de vapor saturado a servicios.



- | | |
|--|---|
|  AGUA DESTILADA |  AGUA CALIENTE DE CIRCULACION |
|  AGUA DE ALIMENTACION |  VAPOR SATURADO |
|  AGUA DE MAR |  AGUA / VAPOR SATURADOS |
|  CONDENSADO |  VAPOR SOBRECALENTADO |

Planta Generadora de Vapor Para un Buque Petrolero

Figura N° 9

El funcionamiento de la planta generadora de vapor representada en la **Figura N°9**, es muy similar al de la **Figura N°7**, con la salvedad de que cuenta con dos calderas de puerto, las cuales pueden ser puestas en servicio al mismo tiempo en caso de ser necesario por ejemplo para las faenas de descarga de combustibles pesados los cuales requieren ser calentados para facilitar su bombeo, el funcionamiento se puede describir clasificándolo en dos condiciones, la condición de puerto y la condición de navegación.

La condición de puerto se caracteriza por la puesta en servicio de una o ambas calderas de puerto (auxiliares), y la puesta fuera de servicio de la caldera de gases ya que no se cuenta con la energía suministrada por los gases de escape del motor propulsor; así también queda fuera de servicio el turbo generador, ya que este requiere de vapor sobrecalentado para funcionar y las calderas de puerto solo generan vapor saturado; por ultimo también se deja fuera de servicio la bomba circuladora de agua (**J**) ya que la caldera de gases se encuentra fuera de servicio. Durante el servicio de puerto, las calderas auxiliares generan vapor saturado para calefacción, de la carga, del combustible para el buque, de las acomodaciones, etc., En caso de que la generación de vapor sea mayor a la demanda, la válvula (**7**) se encarga de desviar el exceso de vapor hacia el condensador (**E**), el cual condensa el vapor por medio de la circulación de agua de mar con la bomba (**G**), el condensado es bombeado por la bomba (**F**) hacia la cisterna desde donde será bombeada por la bomba (**I**) junto con los retornos de los otros servicios hasta las calderas según sea requerido por los controladores de nivel (**2**).

La condición de navegación se caracteriza por la puesta en servicio de la caldera de gases de escape, esto se logra al hacer funcionar la bomba circuladora (**J**), circulando agua caliente desde una de las calderas auxiliares (**N°2**) hacia el economizador (**A**) en donde el calor de los gases de escape precalentaran el agua para luego derivarla a la sección del evaporador (**B**) donde se transformara en una mezcla de agua y vapor saturados, la mezcla de agua y vapor saturados se derivan hacia la caldera auxiliar en servicio (**N°2**) en donde se separan el agua del vapor saturado seco, una parte del vapor saturado va hacia los servicios de calefacción, de la carga, del combustible para el buque, de las acomodaciones, etc., mientras que la otra parte del vapor saturado va hacia el sobrecalentador (**C**) donde el calor de los gases de escape lo convierten en vapor sobrecalentado el cual alimenta a la turbina de vapor. El exceso de vapor junto con el vapor residual de la turbina, son derivados hacia el condensador (**E**), el cual condensa el vapor por medio de la circulación de agua de mar con la bomba (**G**), el condensado es bombeado por la bomba (**F**) hacia el estanque cisterna desde donde será bombeada por la bomba (**I**) junto con los retornos de los otros servicios hasta las calderas según sea requerido por los controladores de nivel (**2**).

1.4.- Partes Principales de una Caldera Auxiliar

A continuación se describirán los principales componentes de una caldera auxiliar la cual forma parte de la planta de vapor de la motonave LAUREL del tipo Bulkcarrier, las principales características de la caldera son:

| | | |
|-----------------------------|----------|------------------------------|
| Marca | : | SASEBO |
| Modelo | : | SCB – 015 |
| Tipo | : | Acuotubular Vertical. |
| P° de diseño | : | 7 kg / cm² |
| P° de trabajo | : | 6 kg / cm² |
| Capacidad | : | 1000 kg / h |
| Sup. De calefacción: | | 32.5 m² |
| Eficiencia | : | 76 % |

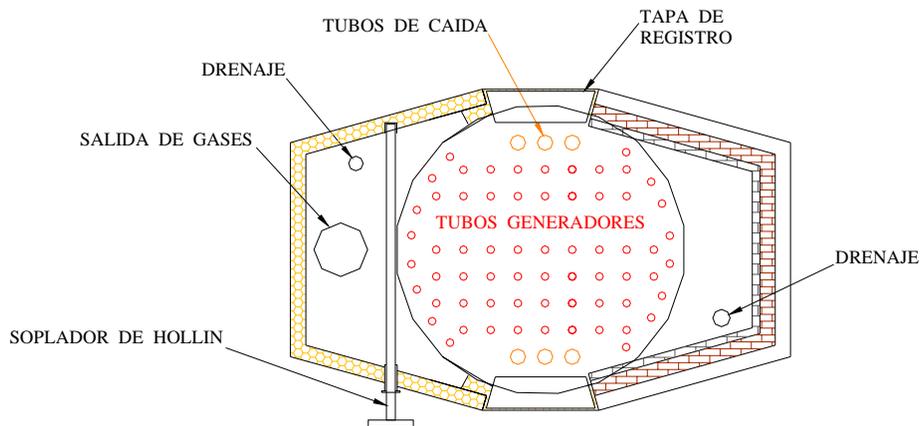
Según muestra la **Figura N° 10**, las partes principales de la caldera son las siguientes:

- 1 - Hogar o Fogón.**
- 2 - Colectores.**
- 3 - Tubos.**
- 4 - Aislantes y refractarios.**
- 5 - Tapas de registro.**

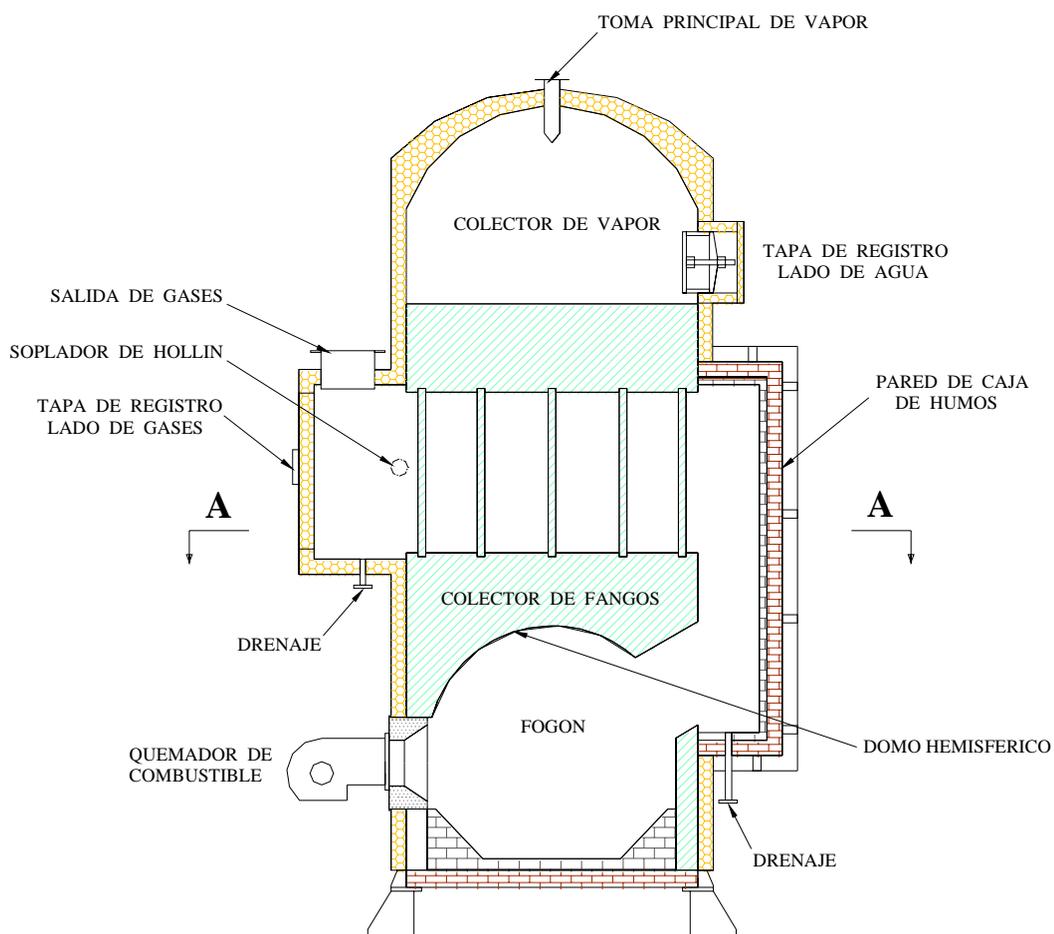
1.4.1.- Hogar o Fogón

Es el espacio donde se quema el combustible. Se le conoce también con el nombre de “Cámara de Combustión”. El hogar de la caldera SCB – 015 posee un volumen de 1.01 m³ y esta compuesto en su parte superior por un domo hemisférico de acero, el cual al mismo tiempo es la parte inferior del colector de fangos, de esta forma provee a la caldera gran parte de la superficie de calefacción. La parte inferior del hogar esta compuesta por ladrillos de fuego refractarios de alta resistencia a la temperatura, los cuales a su vez ayudan a mantener una alta temperatura en el fogón, y por lo tanto ayudan a una combustión eficiente y completa.

CALDERA AUXILIAR "SASEBO SCB-015" M/V LAUREL



SEC. A-A



- | | |
|---|---|
|  LANA DE VIDRIO |  LADRILLO AISLANTE |
|  LADRILLO DE FUEGO |  AGUA DE CALDERA |

Figura N° 10

1.4.2.- Colectores

Constituyen las partes más altas y mas bajas de los elementos que contienen agua y vapor. Se clasifican en colectores de vapor y colectores de agua (o fangos) y sus funciones son las siguientes.

a) Colector de vapor

- Acumular el vapor generado en los tubos y proveer espacio para la separación de la humedad del vapor antes de que deje la caldera.
- Proveer un receptáculo para el agua, requerido para la operación correcta de la Caldera.
- Recibir y distribuir a los tubos de caída el agua de alimentación requerida para la generación de vapor.



Colector de Vapor de una Caldera Acuotubular

Figura N° 11

b) Colector de agua (o fango)

- Distribuir el agua a los tubos generadores.
- Proveer un receptáculo para la acumulación de incrustaciones y otras materias sólidas que puedan estar presentes o precipitadas en la caldera.

1.4.3.- Tubos

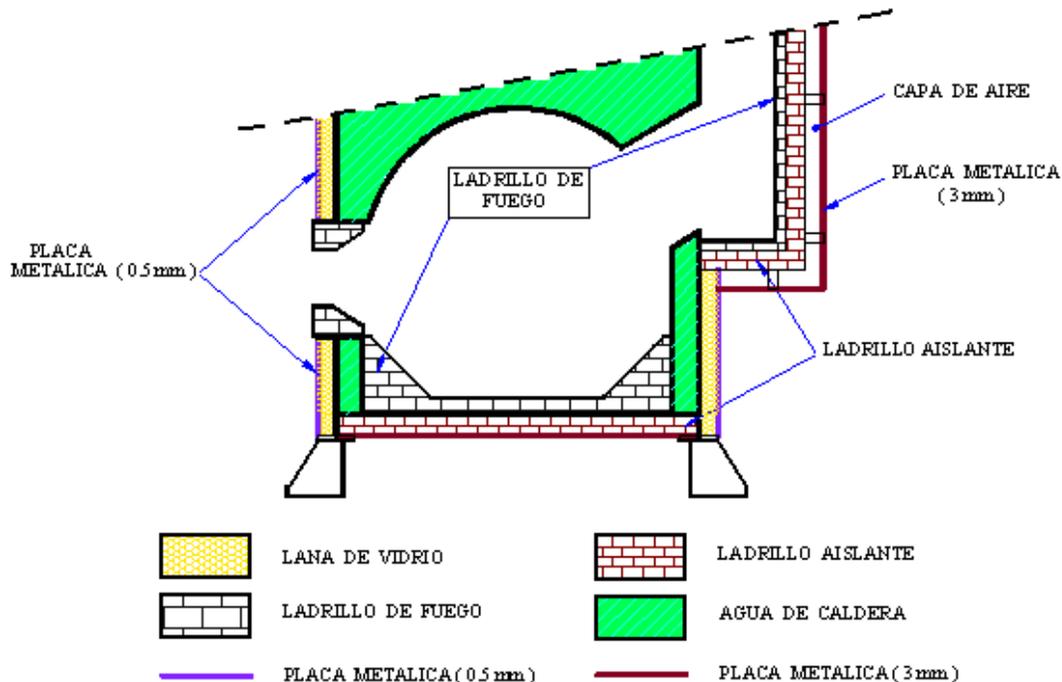
Los tubos en la caldera SCB – 015 son tubos de agua, verticales, y conforman gran parte de la superficie de transferencia de calor (**Figura N° 10**), se dividen principalmente en:

- a) **Tubos generadores.-** Se encuentran en la zona central del paso de los gases calientes que provienen del fogón son verticales, se unen a los colectores mediante uniones expandidas y soldadas, y su función es la de generar vapor y dirigirlo hacia el colector de vapor.
- b) **Tubos de caída.-** Se encargan de circular el agua desde el colector de vapor hacia el colector de agua y están ubicados en la zona periférica al paso de los gases calientes, son de mayor diámetro que los tubos generadores y al igual que estos últimos, se unen a los colectores mediante uniones expandidas y soldadas.

1.4.4.- Aislantes y Refractarios

Se llama refractario a la construcción de ladrillos que tienen como objetivo:

- a) Formar las paredes de la cámara de combustión, y ayudar a mantener la alta temperatura dentro de ella para así permitir una combustión completa.
- b) Cubrir la caldera para evitar perdidas de calor.
- c) Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.



Aislamiento y Refractarios

Figura N° 12

La parte exterior a los colectores de vapor y de fangos de la caldera, se encuentran protegidos por material aislante, para este objetivo se utilizan materiales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas, mientras que la caja de humos y el piso del fogón se encuentran protegidos por material refractario. Para mejorar el aislamiento de los refractarios se ha dispuesto en la pared trasera de la caja de humos, de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. (**Figura N°12**).

1.4.5.- Tapas de registro

Se denomina tapas de registro a aquellas aberturas que permiten la inspección limpieza y reparación de la caldera. Las tapas de registro con que cuenta la caldera SCB – 015 se pueden clasificar en dos tipos, de lado de gases y de lado de agua (**Figura N° 10**).

La **Figura N°13** muestra una tapa de registro para acceder a la caja de humos y existen tres de estas, una en el frente de la caldera y las otras dos a los lado a de la caja de humo, junto a los tubos de caída. La **Figura N°14** muestra una tapa de registro que permite el acceso al lado de agua de la caldera y existen dos de estas tapas, una en el colector de vapor y otra en el colector de fangos.



Figura N° 13 Tapa de Registro del Lado de Gases

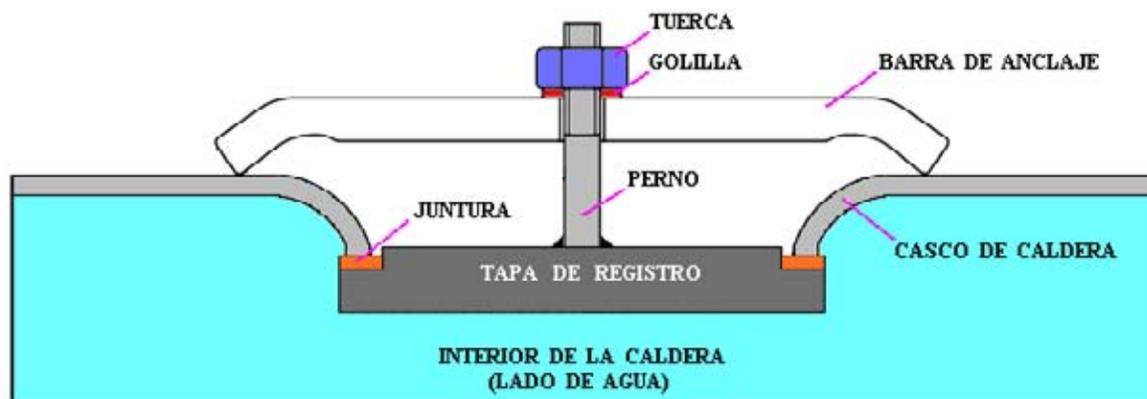


Figura N° 14 Tapa de Registro del Lado de Agua

ACCESORIOS DE CALDERA AUXILIAR "SASEBO SCB-015" M/V LAUREL

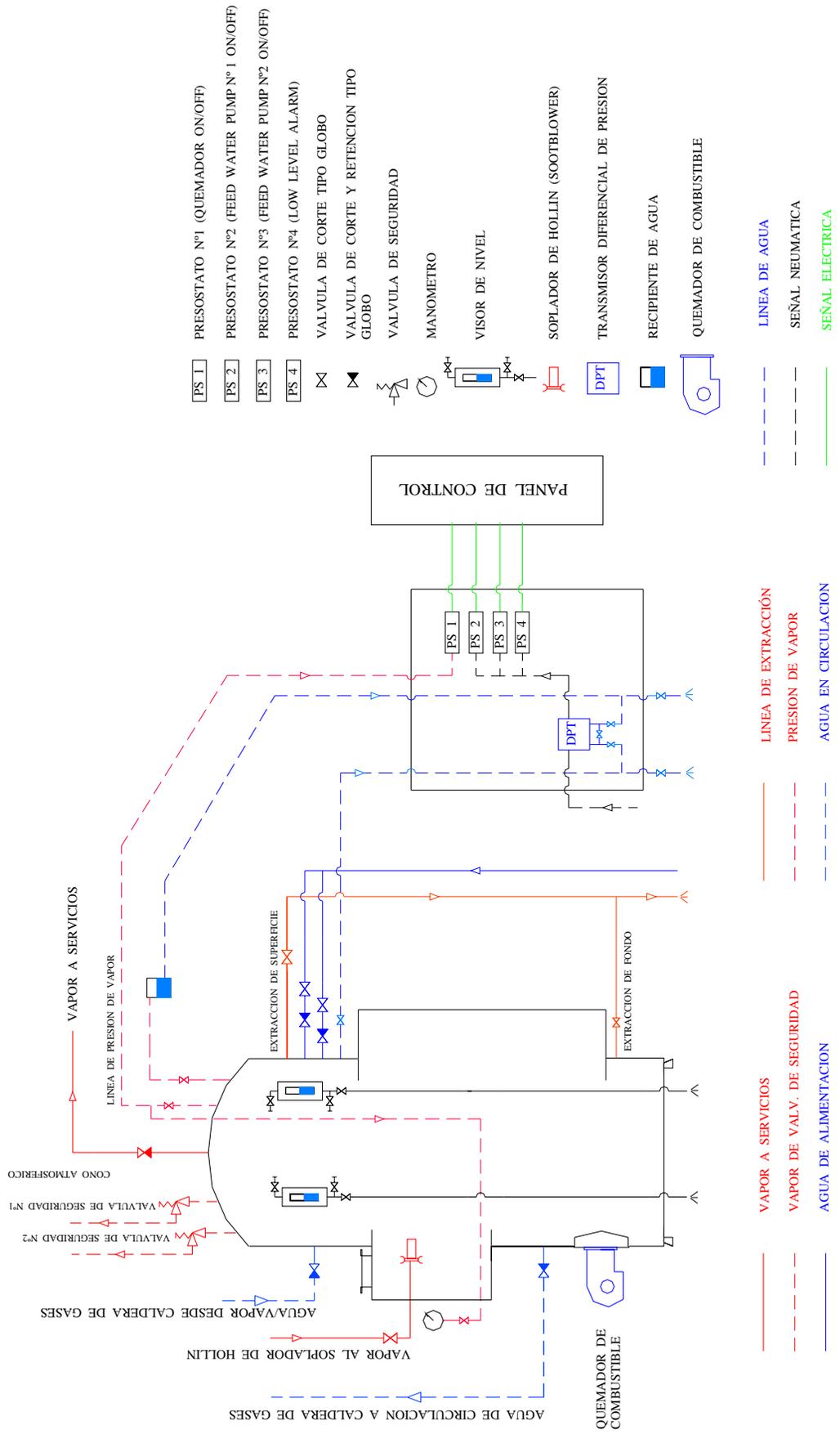


Figura N° 15

1.5.- Accesorios de Calderas Marinas (Figura N° 15)

Los accesorios de calderas son todos los elementos útiles y necesarios para controlar el buen funcionamiento del equipo generador de vapor. Cada uno de los elementos tiene una función específica que cumplir cuando el equipo está en servicio y el personal a cargo de la caldera debe conocer cada accesorio, la función que cumple y su funcionamiento.

Los principales accesorios con que cuenta la caldera SASEBO SCB – 015 son:

- 1 - Válvulas de Calderas.
- 2 - Niveles de Agua.
- 3 - Reguladores de Alimentación.
- 4 - Sopladores de Hollín.
- 5 - Quemadores.

1.5.1.- Válvulas de Caldera

Todas las calderas cuentan con una serie de válvulas las cuales tienen distintas funciones y son de vital importancia para la operación y seguridad de la planta de vapor, en el caso particular de la caldera SCB – 015, se encuentran las siguientes válvulas.

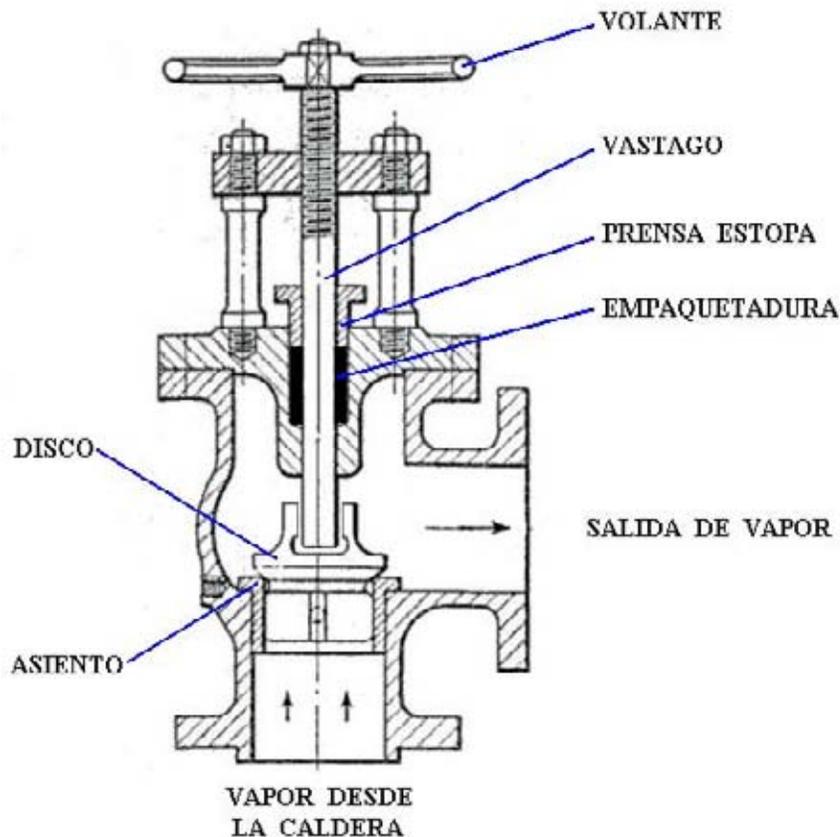
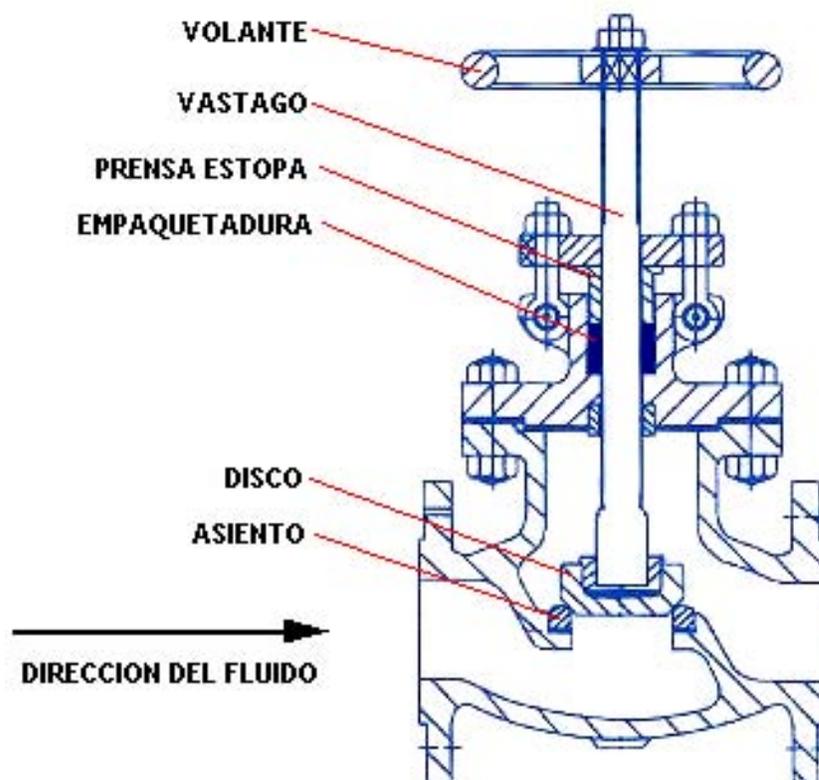


Figura N° 16 Válvula Principal de Vapor (Tipo Globo)

a) **Válvula principal de vapor.**- El objetivo de la válvula principal de vapor es comunicar e incomunicar a la caldera, del sistema principal de vapor. Se encuentra ubicada en la descarga del colector de vapor y se utiliza para esta función una válvula tipo de globo de corte y retención (**Figura N°16**), ya que esta tiene excelentes características de estrangulamiento de fluidos, en este caso, el vapor. Las válvulas principales de vapor suelen tener conexiones de barras acopladas para poderlas accionar desde lejos, por ejemplo desde otra cubierta.

b) **Válvulas de alimentación.**- El sistema de alimentación es usado para proporcionar el agua necesaria a la caldera a través de una válvula tipo de globo de corte y retención, esta válvula es mantenida cerrada por la presión ejercida por la caldera y para alimentarla es necesario que la presión del agua sea mayor, logrando así su levante el cual es graduado por medio de el volante que acciona el vástago que limita la abertura de la válvula. Particularmente, la caldera SCB – 015 cuenta con un sistema de alimentación compuesto por dos juegos de válvulas de alimentación, cada uno de ellos esta formado por dos válvulas, una válvula de tipo globo, y una válvula de corte y retención del tipo globo, esta ultima ubicada entre el colector de vapor y la válvula de corte (**ver Figura N° 15**).



Válvula De Corte (Tipo de Globo)

Figura N° 17

c) **Válvula de extracción de superficie.**- La extracción de superficie tiene por objeto eliminar las impurezas que se encuentran suspendidas cerca de la superficie del agua de la caldera, como por ejemplo aceites o residuos de combustibles que pueden ser arrastrados desde fisuras en los calentadores. Para esto se utiliza una válvula de corte tipo de globo (**Figura N°17**) ya que ofrecen una buena regulación y estrangulación del flujo, la válvula de extracción de superficie está conectada a una espumadera, la que va instalada dentro de el colector de vapor a una o dos pulgadas bajo el nivel de trabajo normal de la caldera y su descarga se realiza al costado de la nave por debajo de la línea de flotación.

d) **Válvula de extracción de fondo.**- Esta instalada en el punto mas bajo del colector de agua de la caldera y al igual que la extracción de superficie su descarga se realiza al costado de la nave por debajo de la línea de flotación. Su propósito es hacer extracciones de fondo para remover las incrustaciones, fangos u otras materias sólidas que puedan entrar en las calderas junto con el agua de alimentación. También son utilizadas para reducir la concentración de sales originadas con el tiempo al alimentar la caldera con agua destilada del agua de mar, esto es de gran importancia ya que una elevada salinidad puede causar incrustaciones sobre los tubos impidiendo la transmisión de calor y reduciendo la eficiencia de la caldera.

e) **Válvulas de seguridad.**- Tienen por objetivo dar salida al vapor de la caldera cuando este sobrepasa la presión máxima de trabajo. Todas las calderas deben tener dos o más válvulas de seguridad, las cuales deben ser capaces de dar salida a todo el vapor que produce la caldera, aun sin haber consumo de vapor. Esto debe suceder antes que la presión sobrepase en un 10% a la presión de trabajo autorizada. Deben ir conectadas directamente al colector de vapor de la caldera, independiente de toda otra conexión o toma de vapor.

En las calderas navales, las válvulas de seguridad mas utilizadas son las válvulas de seguridad de resortes, en ellas la fuerza que mantiene cerrada la válvula se consigue con un resorte calibrado, cuya tensión esta en relación con la presión de trabajo de la caldera. Las válvulas de resorte deben tener un dispositivo manual que permita abrirlas a fin de despegarlas de su asiento, esta prueba debe ser efectuada periódicamente por el personal a cargo a fin de evitar que se pegue debido a incrustaciones o al poco uso.

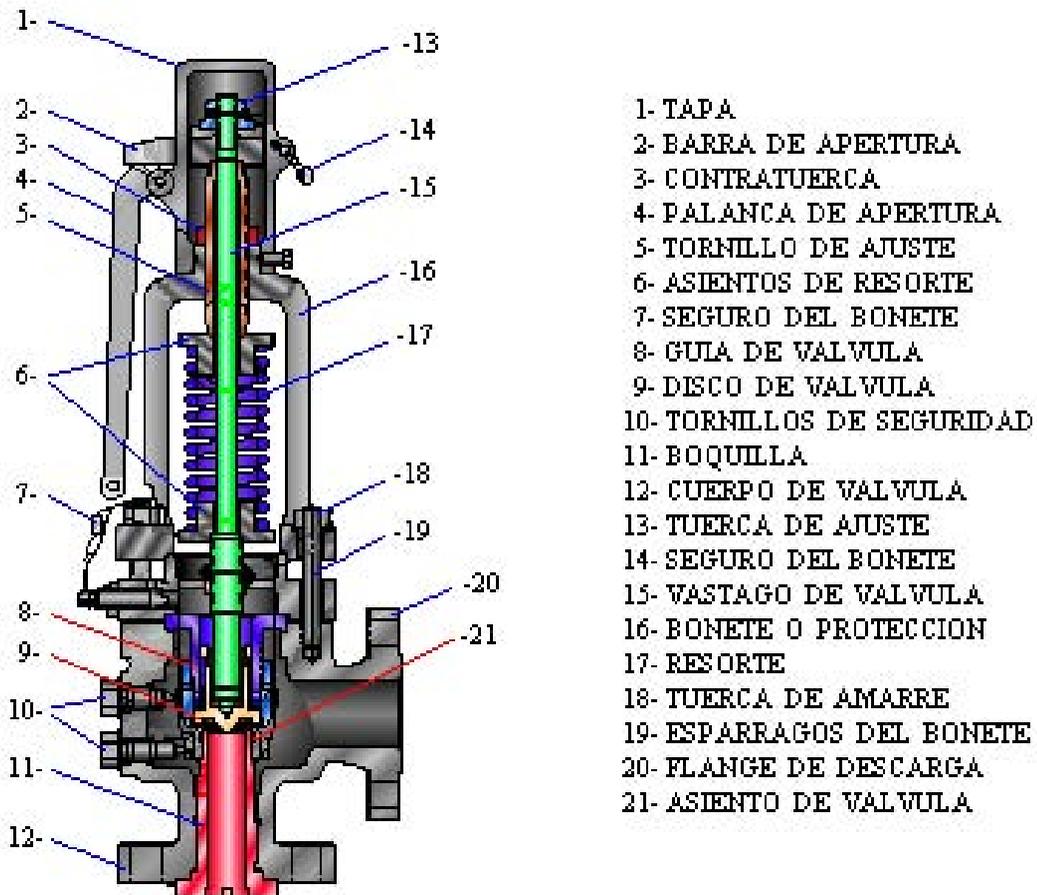


Figura N° 18 Válvula de Seguridad

f) **Cono de prueba.-** Es una válvula tipo cono, instalada en el colector de agua, para poder extraer agua del interior de la caldera con el objeto de analizarla químicamente.

g) **Cono atmosférico.-** Es una válvula instalada en domo del colector de vapor de la caldera, la cual tiene por objeto admitir aire al interior cuando se vacía la caldera, permitir la salida de aire a la atmósfera cuando se llena de agua la caldera y purgar el aire de la caldera cuando esta se encuentra elevando presión de vapor. Para este propósito se usan válvulas de globo de alta presión.

1.5.2.- Niveles de Agua (Niveles Locales)

Son instalados de a pares en el colector de vapor de las calderas, para indicar en forma local el nivel de agua en su interior. Los niveles más usados en las calderas navales son los niveles de patente. Cada nivel cuenta con tres válvulas, la superior comunica el nivel con la cámara de vapor del colector, la inferior con el espacio de agua del colector y la última es una válvula de purga que tiene por objetivo limpiar el visor descargando el agua y vapor a la sentina.

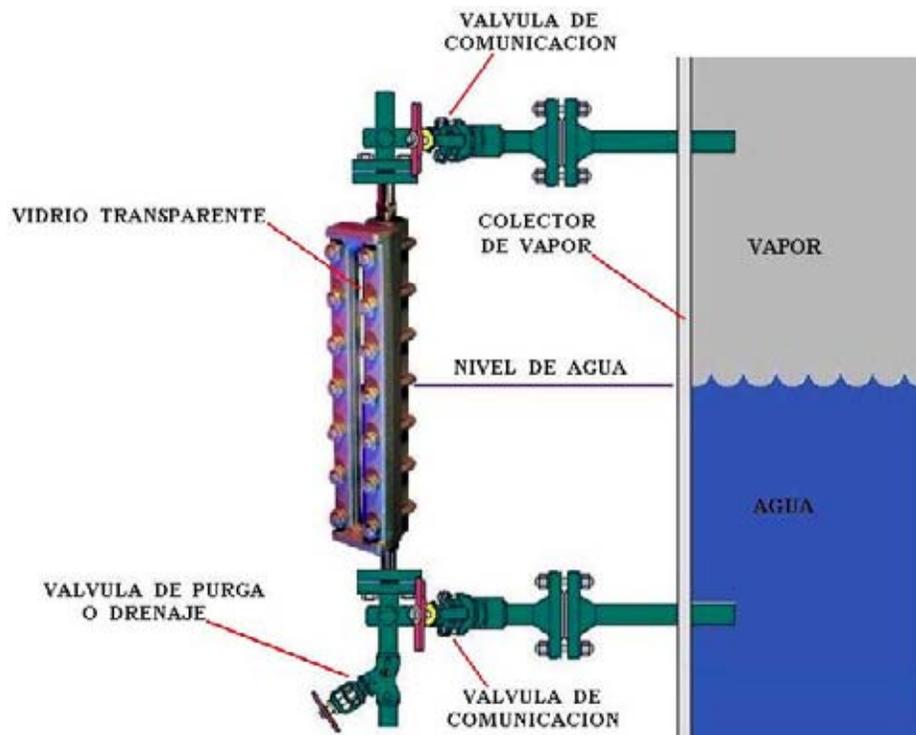


Figura N° 19 Nivel de Agua Tipo de Patente

1.5.3.- Regulador de Alimentación

En la actualidad, gracias a los avances en la tecnología muchos de los parámetros a controlar dentro de una sala de maquinas han sido automatizados aliviando de esta manera el trabajo del personal de maquinas. Con respecto a las calderas navales, uno de los parámetros mas importantes a controlar es el nivel de agua en ellas ya que un nivel adecuado garantizara un abastecimiento de vapor acorde con los requerimientos de la nave y sus equipos además de evitar recalentamientos en la caldera por una baja excesiva del nivel de agua.

Los reguladores automáticos de nivel para calderas marinas son diseñados e instalados de tal manera que los balances y cabeceos de la nave no afecten su correcto funcionamiento.

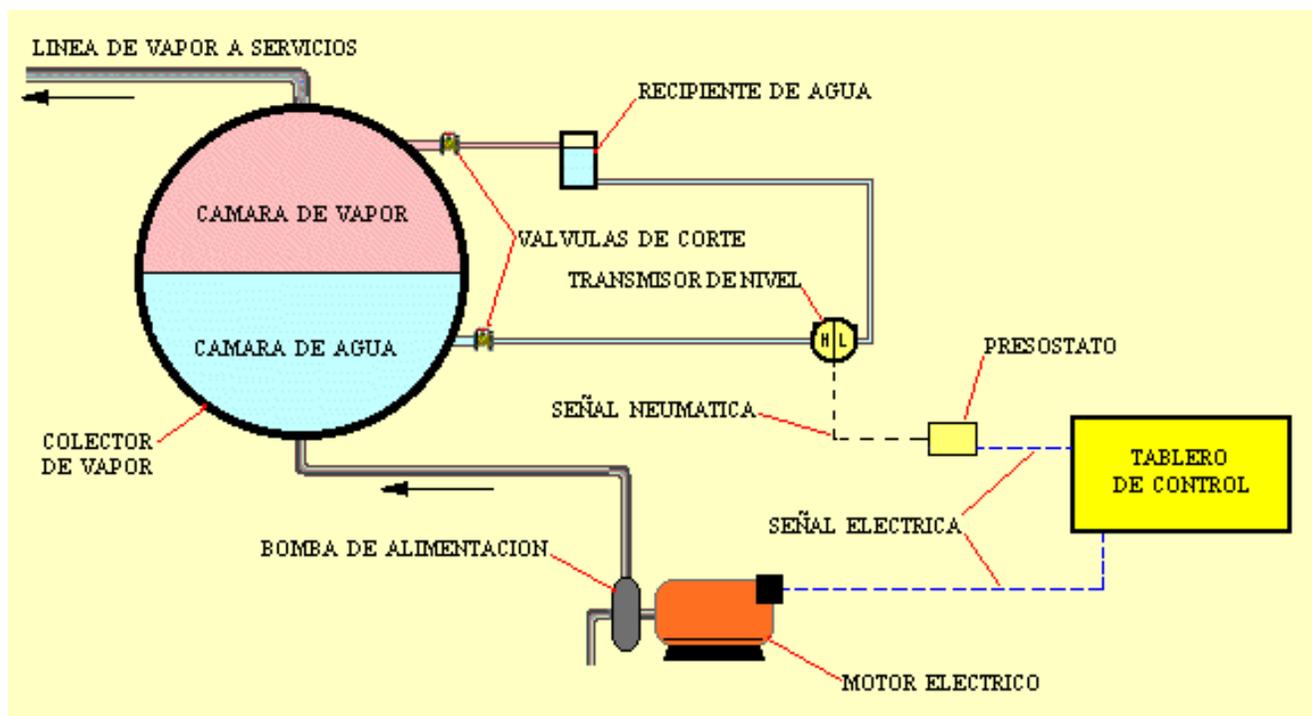
En general existen tres tipos de reguladores automáticos de agua de alimentación, los que se diferencian por el número de factores reguladores de la cantidad de agua que entra a la caldera, estos son:

De Simple Elemento, el cual para regular la alimentación de agua a la caldera solo considera el nivel del agua dentro del colector de vapor, recomendado para calderas con capacidad de generación de vapor de hasta **6 Ton / h**.

De Dos Elementos, el cual además de tomar en cuenta el nivel del agua dentro del colector de vapor, considera también el flujo de vapor saliente de la caldera, recomendado para calderas con capacidad de generación de vapor de **6 a 15 Ton / h**.

De Tres Elementos, considera el nivel de agua en el colector de vapor de la caldera, el flujo de vapor desde la caldera y por ultimo el flujo de agua de alimentación hacia la caldera, recomendado para calderas con capacidad de generación de vapor de mas de **15 Ton / h**.

La **Figura N° 20** muestra el sistema de control de nivel de la caldera SCB – 015, este es un controlador automático de simple elemento el cual funciona con un sistema llamado de **Columnas de Agua**, este nombre se debe a que el transmisor de nivel (transmisor diferencial de presión), transmite hacia un presostato una señal neumática la cual es en esencia la diferencia de peso entre la columna de agua que esta comunicada con el espacio de agua del colector de vapor y la columna de agua que esta comunicada al recipiente de agua que a su vez esta comunicado con la cámara de vapor del mismo colector, esta diferencia de peso no es mas que una indicación directa de la cantidad de agua dentro del colector.



**Sistema de Columna de Agua Para Controlador Automático de Nivel
Tipo de Simple Elemento**

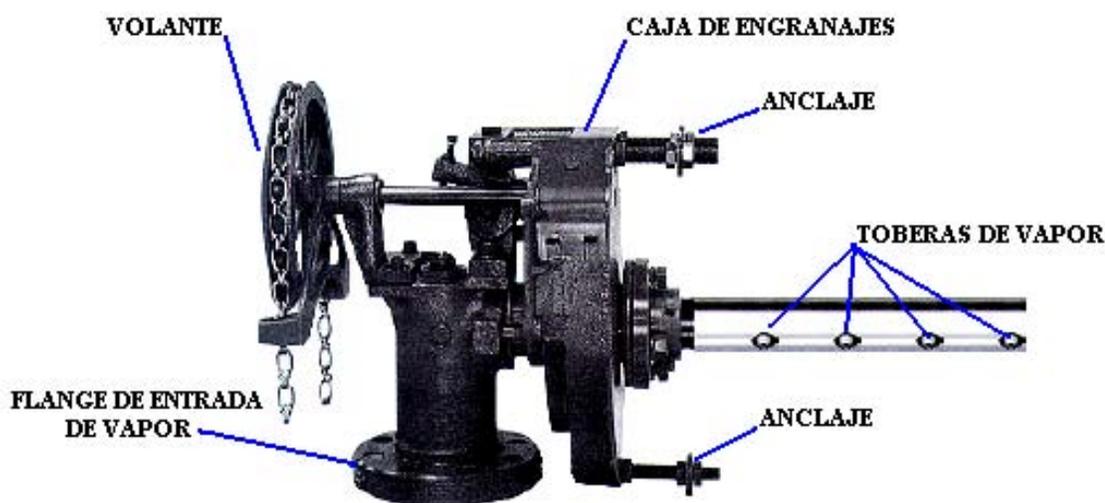
Figura N° 20

Una vez que el transmisor de diferencial de presión a enviado la señal neumática a el presostato, este convertirá la señal en una señal eléctrica que actuara sobre la bomba de alimentación poniéndola en servicio o deteniéndola según sea el nivel de agua en la caldera. Gracias a que en la actualidad, la inmensa mayoría de los buques mercantes son de propulsión Diesel, las plantas de vapor han disminuido la cantidad de vapor requerido para los servicios de a bordo esto ha hecho que el controlador automático de simple elemento se convierta el uno de los mas usados. En conjunto con lo anterior, el hecho de que el sistema de control automático llamado de Columna de Agua no se vea afectado de manera significativa por la dilatación o contracción volumétrica del agua, ni por los movimientos de balance y escora del buque, lo convierten en un sistema óptimo para su utilización en plantas navales de generación de vapor y por ende uno de los mas usados en las calderas auxiliares.

1.5.4.- Soplador de Hollín (Sootblower)

El hollín se acumula sobre las partes expuestas a los gases de la combustión. Debido a que el hollín tiene un alto poder aislante del calor, se hace necesario evitar que se adhiera a los tubos de la caldera, esto se consigue limpiándolos con sopladores de hollín.

Los sopladores de hollín son cañerías de vapor instaladas convenientemente entre los haces de tubos, van agujereadas y tienen movimiento pudiendo dárseles la dirección deseada; como su nombre lo indica, sirven para limpiar de hollín los tubos.



Soplador de Hollín Para Calderas Auxiliares

Figura N° 21

En la **Figura N° 21** se observa un soplador de hollín (sootblower) típico de una caldera auxiliar, entre sus partes principales se encuentra el flange de entrada de vapor que comunica al soplador con una línea principal de vapor, el vapor pasa a través de el soplador hasta las toberas de vapor montadas en un tubo de acero que se ubica en el interior de la caldera en un lugar adyacente a los tubos generadores como puede verse en la **Figura N° 10**.

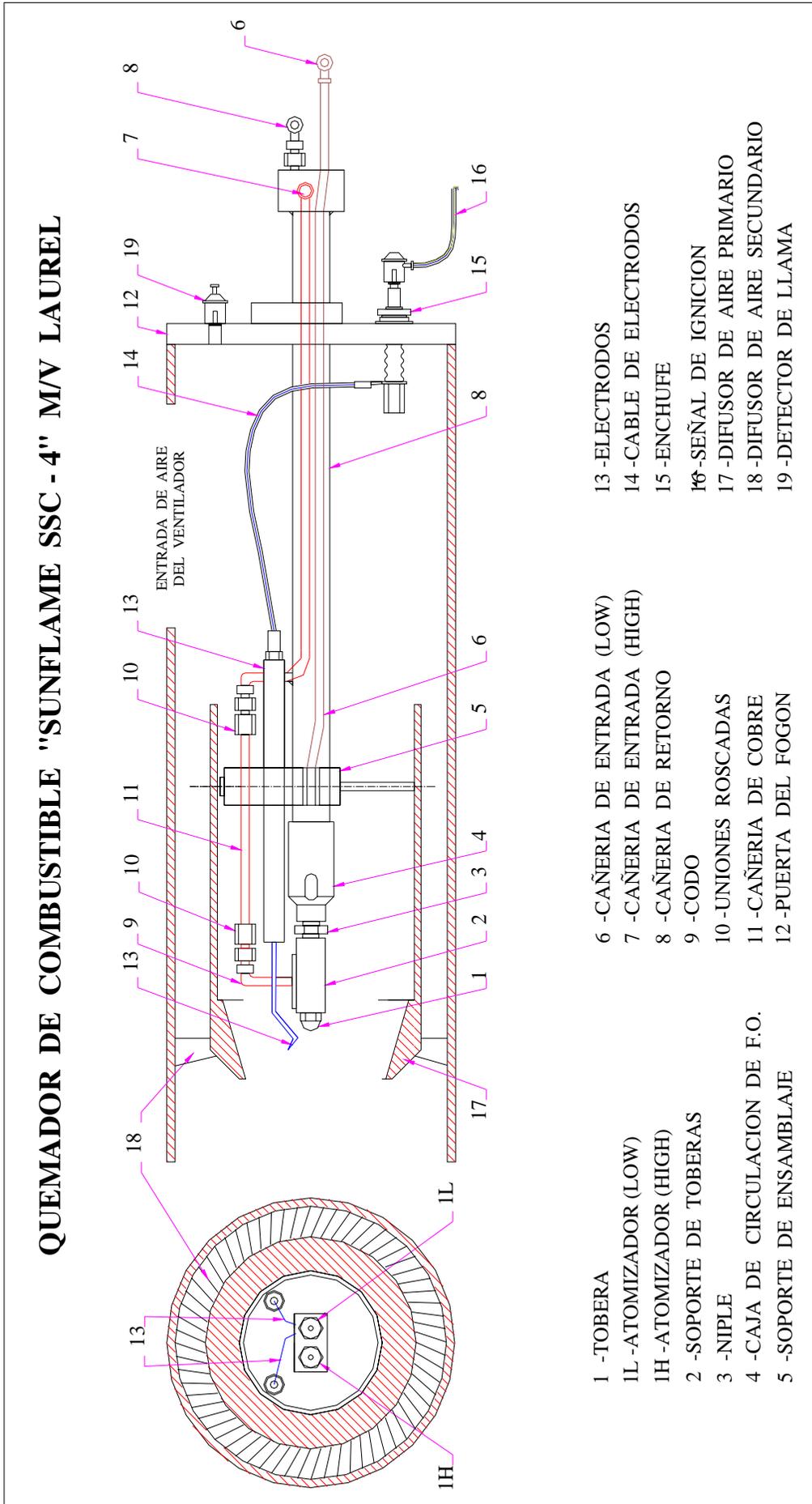
El tubo de acero que contiene a las toberas de vapor, rota sobre su eje longitudinal cuando se hace girar el volante del soplador, el que por lo general cuenta con cadenas para su accionamiento a distancia. La caja de engranajes cumple la función de reductor, aminorando la fuerza necesaria para hacer girar las toberas facilitando de esta forma una mayor limpieza en las superficies expuestas al hollín.

1.5.5.- Quemador

El termino quemador es aplicado al montaje de todos los aparatos instalados en el frente de la caldera para descargar al fogón, el petróleo y el aire necesario para la combustión; este montaje esta formado por las siguientes partes. (Ver **Figura N° 22**).

a) El atomizador de petróleo.- Tiene por objeto pulverizar el petróleo y descargarlo en esa forma hacia el fogón, en donde se mezcla íntimamente con el aire y se produce la completa combustión.

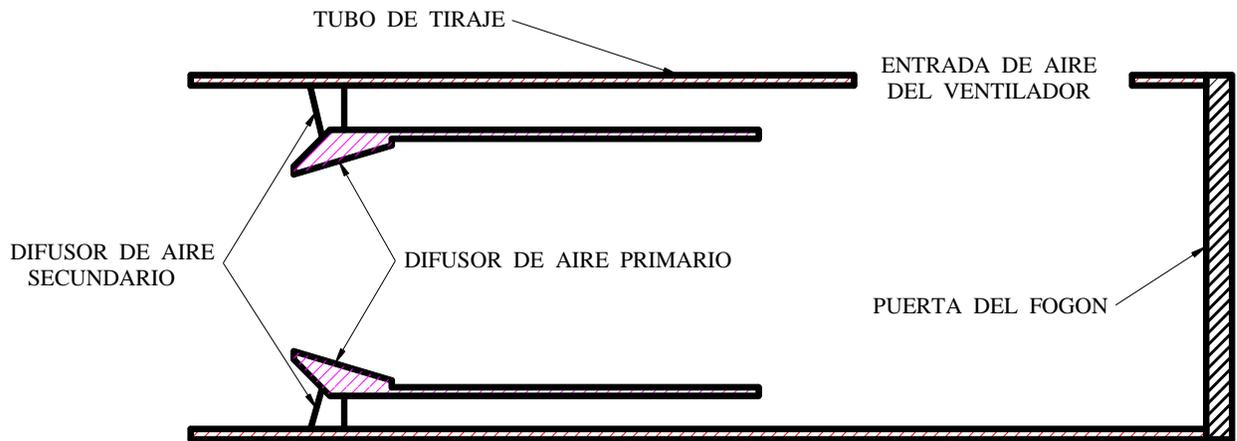
Para atomizar el petróleo existen distintos métodos, a) atomización con vapor , b) atomización con aire; y c) atomización mecánica. En los dos primeros, se hace llegar el petróleo a baja presión a atomizadores de aire o de vapor a alta presión, el que es forzado a través del atomizador dividiendo el combustible, en partículas finamente pulverizadas mezcladas con aire o vapor. Estos métodos son poco prácticos y económicos a bordo, por lo que en los buques de propulsión diesel que utilizan calderas auxiliares, solo se emplea la atomización mecánica, esta se consigue forzando el petróleo a una alta presión a través de un atomizador, el cual esta diseñado para que descargue el petróleo al fogón finamente pulverizado y en forma de cono. La capacidad de un atomizador es la cantidad de combustible que este puede entregar en Kg. / hr.



**Quemador de Atomización Mecánica, Capacidad 42 – 84 kg./hr.
Caldera Auxiliar M/V LAUREL**

Figura N° 22

b) **Registro de aire.**- Forman la segunda parte mas importante en los montajes que integran el quemador, teniendo la función de descargar al fogón el aire necesario para la combustión del petróleo y distribuirlo en forma que se mezcle íntimamente con el petróleo descargado por el atomizador (**Figura N° 23**).



Registro de Aire de Quemador de Combustible "SUNFLAME SSC - 4"

Figura N° 23

c) **Las válvulas y conexiones** para unir el atomizador a las cañerías de suministro y retorno de combustible, y para controlar el flujo del mismo al atomizador (**Figura N°22**).

CAPITULO II

INSPECCION DE CALDERAS MARINAS AUXILIARES

2.1.- Introducción

El oficial de maquinas a cargo de la planta generadora de vapor del buque, cuenta entre sus prioridades de trabajo con la operación de las calderas durante la navegación, y su mantenimiento cuando el buque se encuentra en puerto.

Periódicamente la rutina de mantención debe incluir inspecciones de calderas, las cuales son llevadas a cabo por inspectores de Casas Clasificadoras y de la Autoridad Marítima. En estos procedimientos, las calderas y sus accesorios son inspeccionados interna y externamente, en busca de fallas, daños y las causas que pudieron dar cabida a estos.

En el caso de que se hubieran realizado reparaciones mayores, se hubieran reemplazado piezas de la caldera o si la inspección realizada a ella hiciera presumir una condición insegura para el funcionamiento de la misma, el inspector y el ingeniero a cargo de las calderas determinarían la ejecución de Pruebas Hidráulicas.

Una vez que las observaciones del inspector, si las hubiera, hayan sido corregidas, la planta generadora de vapor se pone en servicio para examinarla en condiciones de trabajo, una vez que se ha generado vapor hasta presión de trabajo, se embanca la caldera y se inspecciona nuevamente, abriendo las tapas de registro del lado de gases y descartando cualquier fuga hacia el lado de fuego, este proceso se repite hasta que no queden dudas acerca de la seguridad de funcionamiento de la planta generadora de vapor.

2.2.- Importancia de las Inspecciones

La tarea principal del ingeniero de maquinas abordo es asegurarse de que los equipos a su cargo funcionen de manera eficiente y segura para la navegación y mas importante aun, para la seguridad de la tripulación. Las inspecciones de calderas permiten realizar estimaciones de la vida remanente de un elemento específico, al comparar su estado actual con las condiciones que tenía el mismo elemento al salir de fábrica o en una inspección anterior, esto permite tomar decisiones acertadas con respecto a la necesidad de reparar o cambiar alguna pieza del equipo en cuestión. Sin embargo, no se puede cuantificar el grado de envejecimiento y estimar forma acertada la vida remanente, a menos que el motivo del deterioro del elemento sea previamente identificado.

Las inspecciones de maquinas, además de ser una buena herramienta de seguridad y optimización de materiales, traen consigo una serie de beneficios para el armador relativos a obtener rebajas significativas en el costo del seguro de los equipos de sala de maquinas y demostrar un adecuado mantenimiento técnico de los equipos frente al mercado de transacciones de buques.

2.3.- Frecuencia de las Inspecciones

Tanto las casas clasificadoras como la autoridad marítima establecen periodos máximos de tiempo entre inspecciones a buques, las calderas, siendo uno de los ítems más importantes a considerar para la clasificación, no escapan a ello. Sin embargo, los periodos de tiempo entre inspecciones pueden variar según la institución que las realice, o las características de la caldera en cuestión. Es por esto que a continuación se enumeran diferentes frecuencias de inspecciones para distintas organizaciones.

- a) **DIRECTEMAR**.- En su Reglamento Para la Construcción Reparación y Conservación de Naves Mercantes y Especiales, establece que las calderas serán inspeccionadas interior y exteriormente cada dos años.
- b) **GERMANISCHER LLOYD**.- Todas las calderas con una presión de trabajo mayor a 3,5 bar y una superficie de calefacción mayor a 4,5 m² se inspeccionaran cada 2 años interiormente, y cada año exteriormente.
- c) **LLOYD'S REGISTER**.- Todas las calderas con una presión de trabajo mayor a 3,4 bar y una superficie de calefacción mayor a 4,65 m² se inspeccionaran cada 2 años interiormente, y cada año exteriormente.
- d) **AMERICAN BUREAU OF SHIPPING**.- Todas las calderas con una presión de trabajo mayor a 3,4 bar, se inspeccionaran interior y exteriormente a intervalos no superiores a los 2 años y medio.
- e) **BUREAU VERITAS**.- Todas las calderas con una presión de trabajo mayor a 3,5 bar y una superficie de calefacción mayor a 4,5 m² se inspeccionaran cada 2,5 años interiormente, y cada año exteriormente.

Si bien los reglamentos se refieren a inspecciones periódicas para calderas con una presión de trabajo mayor a 3,4 o 3,5 bar y con superficies de calefacción mayores a 4,5 o 4,65 m², de existir a bordo una caldera que aun no cumpliendo con estos parámetros, sea de vital importancia para el funcionamiento apropiado del buque, las inspecciones nombradas anteriormente, serán aplicables a esta.

2.4.- Inspección de Superficies Expuestas al Fuego en una Caldera Auxiliar

La caldera SASEBO SCB – 015 es una caldera auxiliar del tipo acuotubular vertical, en ella zonas expuestas al fuego comprenden refractarios, tubos y placas de la caldera. Para su inspección se requiere que la caldera se encuentre fuera de servicio previamente por un tiempo lo suficientemente prolongado como para permitir un enfriamiento gradual y suficiente que evite cambios bruscos de temperatura que pudieran ser perjudiciales para los componentes de la caldera. Una vez que el interior de la caldera se encuentre a una temperatura adecuada para su inspección, se procede a abrir las tapas de registro que correspondan.

2.4.1.- Inspección del Refractario

Para realizar una adecuada inspección del refractario de la caldera, se debe tener conocimiento previo de las condiciones que propician las fallas del mismo. También se ha de saber diferenciar entre una avería seria que necesite de la renovación completa del revestimiento y una avería menor que pueda repararse con un parche. En general, las fallas mas frecuentes que se pueden detectar durante la inspección del refractario son:

- **Formación de Escoria.**
- **Cuarteado.**
- **Falla de los Anclajes.**

La formación de **escoria** es una de las principales causas del deterioro del refractario, y se presenta cuando reaccionan las cenizas y otros materiales incombustibles con el ladrillo. Aunque la cantidad de cenizas del combustible es baja, siempre existe una cantidad que puede dañar el refractario. Los materiales mas peligrosos que forman cenizas son las sales de vanadio y el cloruro de sodio (componente principal del agua de mar). La escoria que se forma en la superficie del ladrillo provoca que la expansión térmica de esta zona sea diferente a la del ladrillo original, esto hace que frente a un cambio de temperatura, la capa escoriada se agriete y se rompa llevándose algo de refractario con el y dejando una nueva capa de ladrillo expuesta a la acción de la escoria.

El **cuarteado** es otro de los principales motivos de la falla del refractario y consiste en el agrietamiento y posterior rotura o desmenuzamiento de los ladrillos. Aunque el cuarteado térmico es el que mas se asocia a las calderas en general, es poco habitual en las calderas navales ya que el ladrillo refractario utilizado ahora es de gran calidad y gran resistencia al cuarteado térmico. Cabe señalar que entre las causas probables del cuarteado se encuentran además de los cambios bruscos de temperatura, las vibraciones y la mala instalación.

La **falla de los anclajes** de los ladrillos también debe ser tomada en cuenta a la hora de realizar las inspecciones, ya que la rotura de un anclaje puede desencadenar la pérdida de ladrillos dañando otras piezas del recubrimiento interior.

2.4.2.- Inspección de Tubos y Placas

Una vez abiertas las tapas de registro para inspección del lado de fuego de la caldera, los principales daños que se pueden observar son.

- a) Depósitos en Lado de Gases.**
- b) Corrosión de Lado de Gases.**
- c) Deformaciones y Fracturas de Tubos.**

2.4.2.1.- Depósitos en Lado de Gases.

Estos incluyen **hollín, escoria y productos de corrosión**. El **hollín** es un término utilizado para referirse a los productos sólidos que resultan de una combustión deficiente. Estos depósitos son normalmente polvorientos en las superficies próximas a las partes altas de la caldera (sección de tubos) y más compactos en las zonas bajas de la misma. La acumulación prolongada de hollín en la superficie de los tubos generadores y en el domo del fogón, provoca una baja en la eficiencia de la transmisión de calor y en casos extremos puede llegar a provocar incendios en el interior de la caldera.

La **escoria** no es polvorienta, ni compacta como el hollín, más son acumulaciones cristalinas de sales en la superficie de los tubos y de los refractarios, especialmente del piso del fogón. La escoria es perjudicial en los tubos de la caldera porque retarda la transferencia de calor al metal del tubo y puede formar canales de gases con el consiguiente recalentamiento local del metal no cubierto por la escoria.

En los refractarios, la escoria se adhiere a la superficie de los ladrillos, lo que al tener la escoria, una distinta capacidad de expansión y contracción bajo cambios de temperatura, produce desprendimiento de la superficie del ladrillo, por la naturaleza cíclica de este fenómeno, se pueden producir serios daños a la integridad del aislamiento refractario de la caldera. La forma más frecuente de formación de escoria es la quema de combustibles con elevado contenido de elementos incombustibles (sodio, cenizas, silicio, etc.) o contaminado con agua de mar, es por esto que este fenómeno se presenta con mayor frecuencia en calderas de alta presión que utilizan combustibles pesados con mayor contenido de impurezas.

Los **depósitos de corrosión** corresponden a aquellas partículas removidas de la superficie de tubos o ladrillos de la caldera a causa de la corrosión o fracturas, y que al desprenderse de su lugar de origen (tubo, placa o ladrillo), se acumulan, frecuentemente entre tubos generadores formando un obstáculo para los gases calientes, desviándolos hacia zonas que no se encuentran obstaculizadas por estos depósitos, lo cual redundará en sobrecalentamientos puntuales en de estas últimas debido al aumento del caudal de gases calientes a los que están sometidos. La presencia de estas acumulaciones de residuos, son una clara señal de que existe corrosión en el lado de gases de la caldera, por lo que la fuente de estos deberá ser encontrada para evaluar la gravedad de los daños.

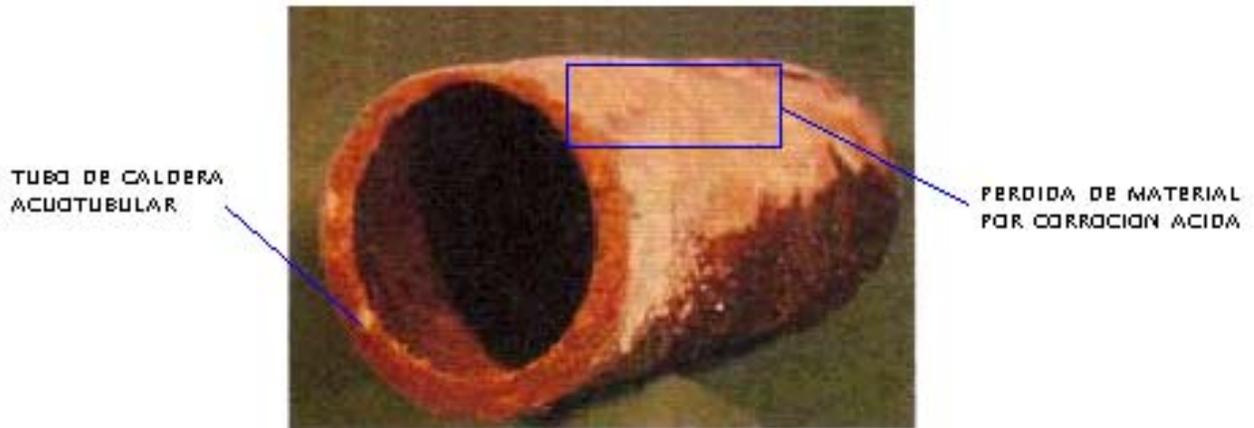
2.4.2.2.- Corrosión de Lado de Gases.

Existen dos causas principales de corrosión del lado de fuego en las calderas acuatubulares, la primera es la **Corrosión por Ceniza del Combustible**, la cual se presenta cuando sobre el tubo se acumula escoria fundida que contiene compuestos de vanadio. La rápida corrosión resultante de este proceso reduce el espesor de la pared, lo cual a su vez, reduce el área que soporta la carga, esto conduce a un incremento de los esfuerzos a través de la región adelgazada. Llega un momento en que la influencia combinada de los esfuerzos, las altas temperaturas y el adelgazamiento de las paredes conducen a una rotura por flujo plástico (**Figura N° 24**).



Figura N° 24 Rotura de Tubo por Flujo Plástico.

La **Corrosión por Ácido Sulfúrico (Figura N° 25)** es otra de las causas de daños en las calderas marinas esto se produce al cuando el ácido sulfúrico presente en los gases de la combustión alcanza el punto de rocío (**130 – 140 °C**) y se precipita hacia la superficie de los tubos de la caldera, esto ocurre con mayor frecuencia en las ultimas etapas del intercambio de calor entre los gases y las superficies metálicas de la caldera ya que los gases se van enfriando progresivamente a medida que entregan su calor a las superficies de los tubos.



Corrosión Ácida en Lado de Gases
Figura N° 25

El ácido sulfúrico se origina al reaccionar el azufre contenido en el combustible, con el oxígeno de los gases de combustión y representa una seria amenaza principalmente para la vida útil de los tubos que se ubican en la ultima etapa de el paso de los gases y por lo tanto su temperatura es mas cercana a la del punto de rocío del ácido sulfúrico (**Figura N° 26**).

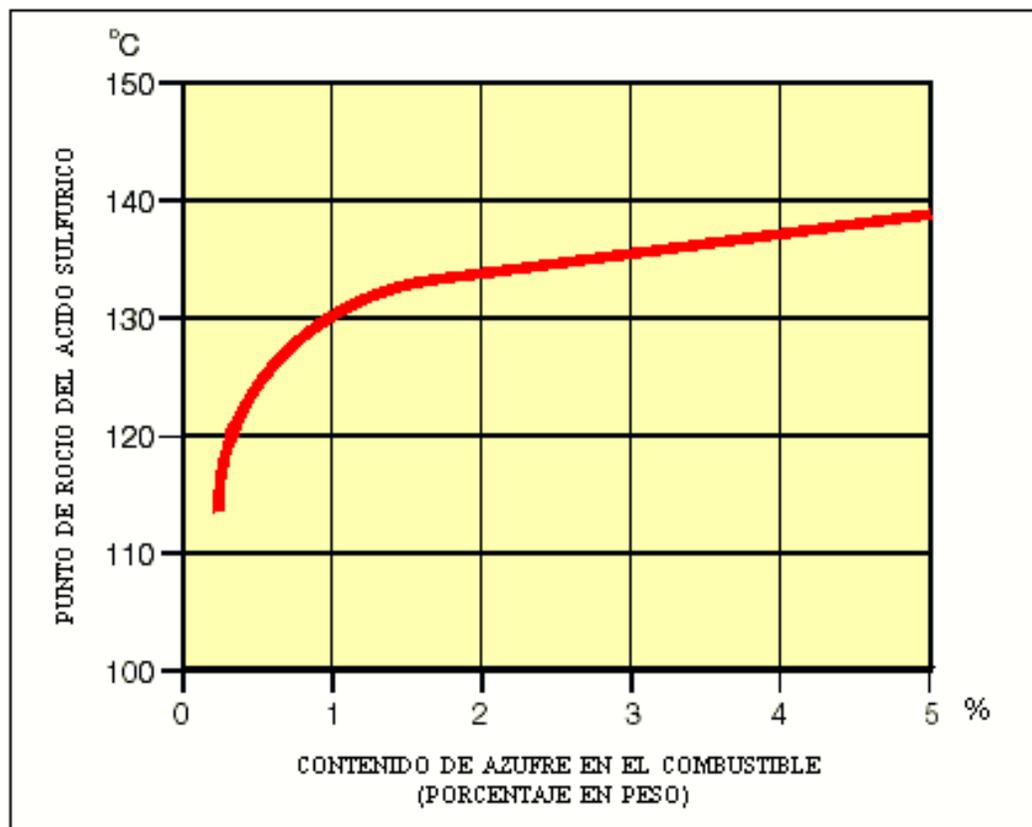


Figura N° 26

2.4.2.3.- Deformaciones y Fracturas de Tubos.

Son las fallas mas fáciles de detectar visualmente y entre ellas destacan por ejemplo, la **flexión de tubos**, la cual se produce principalmente en elementos de desarrollo longitudinal sometidos a altos niveles de temperatura como paredes de agua o tubos generadores de vapor, y las principales causas de estas deformaciones son, caídas de nivel de agua y los depósitos sólidos en el lado de agua de los tubos. Cuando la flexión de tubos se hace pronunciada, suelen producirse **fracturas** en la zona de la unión entre tubos y colectores (**Figura N° 27**).



Fractura en Colector de Vapor (Placa de Tubos Generadores)
Figura N° 27

El **ensanchamiento** de los tubos es otro fenómeno que se da en las calderas marinas, y es relativamente común en los tubos de Sobrecalentadores en calderas de alta presión, pero raro en tubos generadores o en calderas auxiliares. Este ensanchamiento uniforme de una parte del tubo es causado por un recalentamiento mas suave y constante que el que origina por ejemplo oxidación térmica, sin embargo no se le debe restar importancia ya que un tubo que sufre de ensanchamiento de seguro se romperá.

Entre las causas mas comunes de roturas en tubos de calderas se encuentra la **oxidación térmica**, que no es mas que un signo de sobrecalentamiento de larga duración, suele ser una capa gruesa, frágil y oscura de oxido sobre la superficie de los tubos. Si la temperatura del metal sobrepasa cierto valor para cada aleación, la oxidación térmica se hará excesiva.

A menudo, la capa de oxido formado térmicamente tiene fisuras y grietas longitudinales. El adelgazamiento de la pared del tubo puede ser resultado de la oxidación térmica cíclica y el desprendimiento de costras. Este proceso puede continuar hasta que toda la pared se convierta en oxido, con lo que se crea un agujero (**Figura N° 28**).

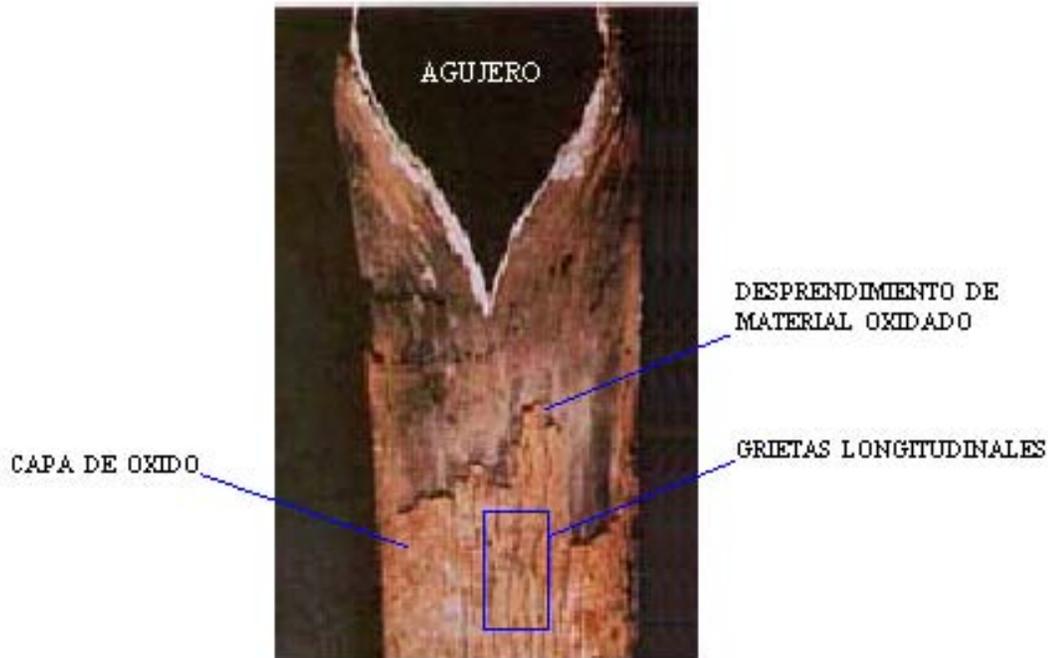


Figura N° 28 Rotura de Tubo por Oxidación Térmica

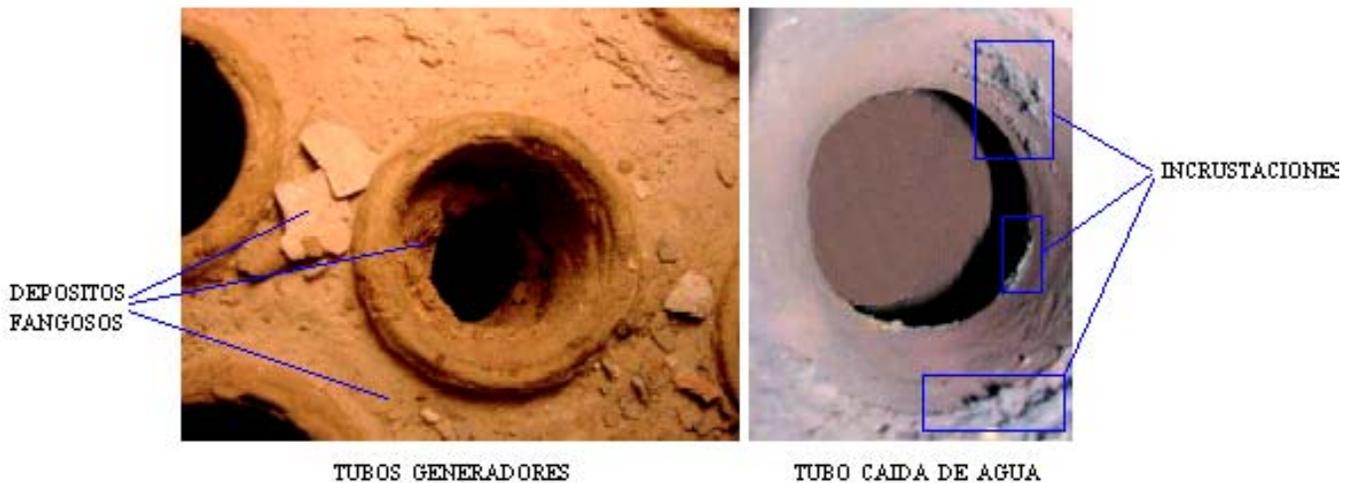
2.5.- Inspección de Zonas de Agua en una Caldera Auxiliar

Para llevar a cabo una inspección del lado de agua de una **Caldera Auxiliar del Tipo Acuotubular**, es necesario esperar a que el calor remanente del fogón se disipe antes de drenar el agua de la caldera ya que si exponemos los tubos secos a temperaturas excesivas, pueden producirse graves deformaciones estructurales. Una vez que la caldera se encuentre a una temperatura razonable, se procede a drenar la caldera y abrir las tapas de registro, una caldera húmeda nos dará normalmente indicaciones falsas de su estado real, por lo tanto, no solo bastara con drenarla sino que se deberá secar completamente antes de comenzar con la inspección de las zonas de agua. Una vez seca la caldera se procede a la inspección, los principales problemas que se encontraran en la zona de agua de la caldera son.

- a) Depósitos Sólidos (incrustaciones) y Fangosos (disueltos)**
- b) Corrosión Ácida**
- c) Corrosión cáustica**
- d) Corrosión por Oxígeno**
- e) Contaminación por Aceite**

2.5.1.- Depósitos Sólidos y Fangosos

Los depósitos en las calderas (**Figura N° 29**), están constituidos por partículas sólidas que se desprenden de diversas partes de los circuitos de vapor, por ejemplo empaquetaduras de las bombas de alimentación o de las válvulas, partículas de oxido de intercambiadores de calor, desprendimientos de soldaduras, o por elementos como el cloruro de sodio y sulfatos de calcio y manganeso los cuales pueden ingresar a la caldera como parte de agua de mar que puede haber entrado al sistema por medio de pequeñas roturas en los condensadores o por fisuras de los estanques de almacenamiento de agua destilada abordo. Estos elementos una vez dentro de la caldera, se adhieren a las paredes de los tubos y placas o precipitan al fondo de los colectores, actúan como aislador impidiendo el paso del calor desde los gases calientes del fogón a través de las paredes de los tubos, hasta el agua o vapor que circula por el interior de ellos.



Depósitos de Sólidos en el Lado de Agua de Calderas
Figura N° 29

2.5.2.- Corrosión Ácida

Para entender que ocurre exactamente cuando tiene lugar la corrosión, se debe comprender que toda corrosión es electrolítica en naturaleza. Para esto se debe tener un conocimiento básico del proceso de ionización. De acuerdo con la teoría de la disociación (teoría de la ionización) algunos compuestos tienden a disociarse en partículas cargadas eléctricamente llamadas iones, un ión consiste en un átomo que ha ganado o perdido uno o más electrones. En el agua pura sucede cierta disociación de moléculas en iones de hidrogeno cargados positivamente (H^+), e igual numero de iones de hidróxido cargados negativamente (OH^-).

Cuando una solución contiene un exceso de iones hidrógeno (H^+), se dice estar ácido ($pH < 7$); cuando tiene un exceso de iones hidróxidos (OH^-), básica o cáustica ($pH > 7$). El agua de caldera debe mantenerse ligeramente alcalina ya que el agua ácida ataca los metales ferrosos, por otro lado una alta alcalinidad expone a los metales a la corrosión cáustica.

La corrosión ácida (**Figura N°30**) se presenta cuando se produce un aumento de la acidez del agua de caldera, ciertos contaminantes no comunes hacen subir el contenido de iones de hidrogeno (H^+), sin aumentar el contenido de iones de hidróxido (OH^-), y con esto convierten la neutralidad del agua de caldera en una solución ácida. El ácido muriático (HCl) usado en ocasiones como desincrustante en los lados de agua de calderas es uno de estos agentes.

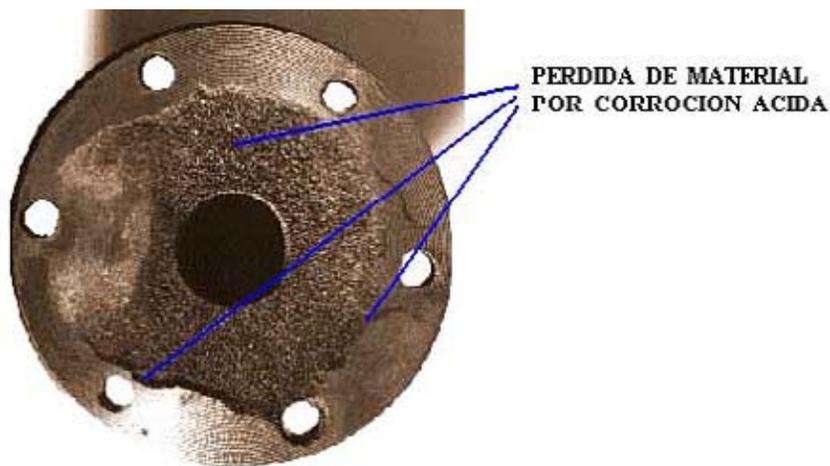
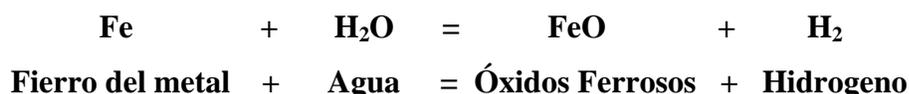


Figura N° 30 Corrosión Ácida

2.5.3.- Corrosión Cáustica

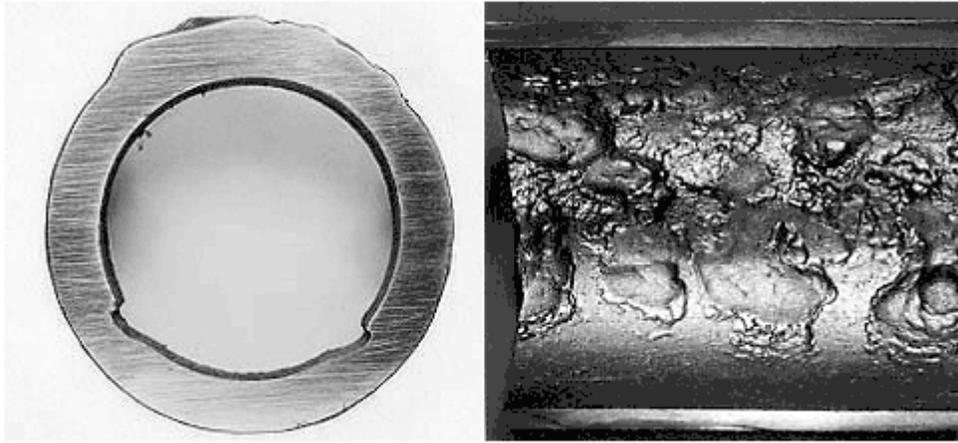
Tal como un agua de calderas ácida da origen a la corrosión ácida, un agua de caldera con pH elevado es decir un agua básica, da origen a lo que se conoce como corrosión cáustica. Esta puede ser reconocida por generar depresiones claras y elípticas, con contornos lisos y laminados pero para entender la corrosión cáustica (**Figura N° 31**), primero es necesario entender que el Hierro en los materiales de calderas, reacciona con el agua para formar óxidos (FeO), esta reacción se expresa como sigue:



Una vez formado este óxido, este tiende a prevenir cualquier oxidación posterior. Cuando la alcalinidad del agua de calderas está demasiado elevada, una fuerte concentración cáustica se lleva a cabo en la película de agua en contacto con las zonas más calientes de los tubos

generadores de vapor. Mientras mas caliente es la superficie, mas alta será la concentración cáustica que tiene lugar. Las concentraciones causticas disuelven la película de oxido ferroso y permiten que mas material ferroso se oxide cuando cambian las condiciones de operación.

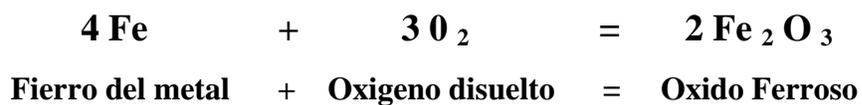
Con un cambio de carga en la caldera, los puntos calientes bajan su temperatura y la solución cáustica es desplazada y se forma una nueva película de oxido, ella también puede ser disuelta por una concentración cáustica cuando la temperatura se eleve nuevamente por otro periodo de alta temperatura, cuando se vuelvan a generar las zonas de concentración cáustica, este ciclo continua repitiéndose hasta producir la falla del tubo.

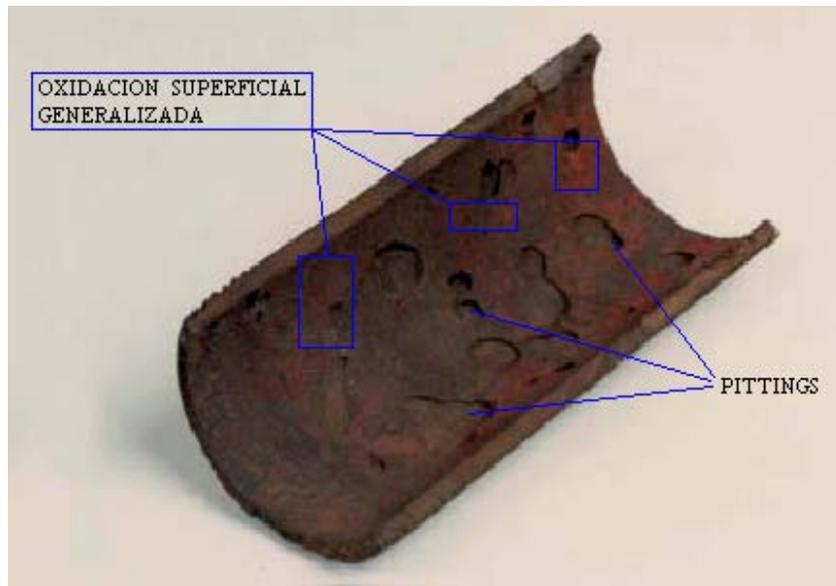


Corrosión Cáustica en Caldera Acuotubular
Figura N° 31

2.5.4.- Corrosión por Oxígeno

Uno de los problemas de corrosión que se encuentra con mas frecuencia es el resultado de la exposición del metal de la caldera al oxígeno disuelto. Como los óxidos de Fierro son un estado natural y estable, los aceros tienden a volver a esa forma en presencia de agua con oxígeno disuelto, liberando moléculas de Fierro para formar óxidos ferrosos y dejando cavidades en la superficie del metal (Pittings). Además de la perforación de la pared del tubo, la corrosión por oxígeno es problemática desde otra perspectiva, las picaduras por oxígeno (Pittings) pueden actuar como sitios de concentración de esfuerzos fomentando de esta manera la formación de grietas (**Figura N° 32**). La reacción de la corrosión por oxígeno es la siguiente.





Efectos del Oxígeno Disuelto en el Agua
Figura N° 32

2.5.5.- Contaminación por Aceite

Tanto el petróleo como el aceite lubricante, pueden ingresar al sistema de alimentación por filtraciones de los calentadores y serpentines en los estanques de almacenamiento. Si bien su presencia en el agua de alimentación es poco común, la contaminación provocada por esta puede acarrear severos daños no solo a la caldera sino que a los equipos que requieren de vapor para su funcionamiento. La presencia de aceite cerca de la superficie de el agua provoca formación de espuma con el consiguiente arrastre de humedad además el aceite no solo permanece cerca de la superficie sino que circula por toda la caldera adhiriéndose a las superficies de los tubos y placas formando una película aislante del calor y deteriorando la transferencia de este, lo que puede ser causa de sobrecalentamiento y posible falla, la **Figura N° 33** muestra el colapso del domo de una caldera auxiliar, al acumularse una película de aceite y otros contaminantes en el lado de agua del domo e impedir la transferencia de calor al agua provocando un debilitamiento del metal por sobrecalentamiento de este.

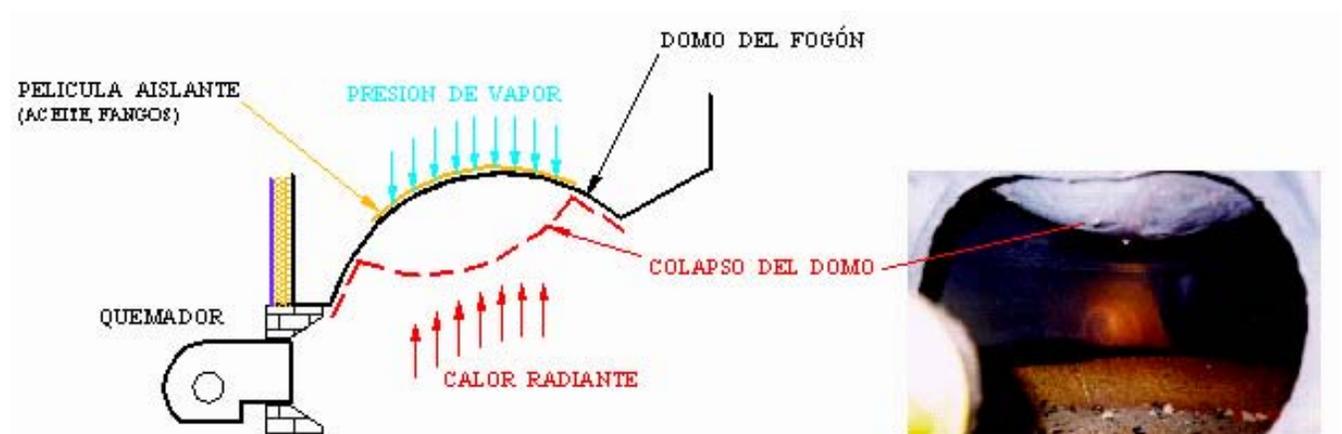


Figura N° 33 Daños Provocados por Contaminación por Aceite

2.6.- Inspección de Accesorios de Calderas Marinas

La inspección de accesorios de calderas, es otro ítem importante en el desarrollo apropiado de una inspección, ya que son los accesorios los que permiten en definitiva, tener un control de los parámetros de funcionamiento y seguridad en la operación de la planta generadora de vapor abordo, a continuación se enumeran los principales accesorios de calderas y las anomalías mas frecuentes que pueden detectarse en una inspección.

2.6.1.- Válvulas de Calderas

Para un funcionamiento seguro y eficiente de la planta de vapor, es esencial que todas las válvulas de la caldera sean mantenidas en buenas condiciones de funcionamiento, por ello se le da particular importancia durante las inspecciones. En general, al inspeccionar los distintos tipos de válvulas de calderas, ya sean de seguridad, alimentación, de extracciones, etc. Las fallas que pueden afectar a unas y otras son las mismas.

Las fugas son las fallas mas frecuentes que se pueden detectar en una válvula y estas son causadas principalmente por roturas de empaquetaduras y juntas, armado inadecuado, erosión del asiento de la válvula o suciedad en la superficie del asiento. Por otro lado el agarrotamiento (válvula trabada) es otro de los problemas que suele presentarse en una válvula, y es producido entre otras cosas por deformaciones en el vástago, deterioro de las roscas, suciedad en el asiento y desprendimiento del disco. En el caso de las válvulas de seguridad, es importante hacer notar que el agarrotamiento en ellas puede no ser tal, y que la no apertura de ella se deba solo a un mal calibramiento de la presión de apertura.

Si bien es cierto que las fugas son las fallas mas frecuentes que se pueden detectar en una válvula, solo las fugas por juntas y empaquetaduras pueden ser detectadas a simple vista, pero cuando la fuga se produce por suciedad o erosión del asiento, se hace necesario llevar a cabo una **Prueba Hidrostática de Estanqueidad de Accesorios**, este procedimiento se lleva a cabo después del termino de cada recorrida general o reparaciones que afecten a las válvulas, juntas o accesorios de la caldera. El procedimiento para llevar a cabo esta prueba esta descrito en el punto 2.7.1 de la presente tesis.

2.6.2.- Niveles de Agua

Los niveles de agua son inspeccionados principalmente en busca de fugas de (agua o vapor) y suciedad. Las fugas pueden ser causadas principalmente por fallas en las válvulas, mal ensamblaje y rotura de juntas. Estas fugas dan origen a movimientos en el nivel de agua en el interior del nivel provocando de esta manera una percepción errónea de la cantidad de agua en la caldera. La suciedad se manifiesta a través de manchas aceitosas y partículas de sólidos suspendidos, las manchas aceitosas se pueden alojar en las paredes interiores del tubo de nivel dificultando la visión del mismo y las partículas sólidas pueden bloquear alguna de las válvulas del nivel imposibilitando la purga de este o comunicándolo con el interior de la caldera.

2.6.3.- Reguladores de Alimentación

Las inspecciones en estos equipos se orientan principalmente a su desempeño con la caldera en servicio, en estas inspecciones se chequea principalmente que los niveles de partida y parada de la bomba alimentadora sean los correctos. Ahora cuando la caldera esta fuera de servicio se aprovecha de purgar las líneas de alta y baja presión de agua, eliminando así la suciedad que pudiera afectar el funcionamiento del controlador.

2.6.4.- Quemadores

Al igual que los controladores de alimentación de agua, los quemadores de combustible de la caldera son inspeccionados principalmente durante su funcionamiento, en estas inspecciones se chequean por ejemplo.

- Calidad de la llama.
- Encendido y apagado automático por presión de vapor.
- Apagado del quemador por bajo nivel de agua.
- Apagado del quemador y alarma por falla de la llama (celda fotoeléctrica).

2.6.5.- Sopladores de Hollín

Las inspecciones de los sopladores de hollín se remiten a la revisión de elementos que están mas propensos a fallar debido a las condiciones de trabajo como por ejemplo, los tubos de soplado ubicados dentro de la caldera están sometidos a altas temperaturas y pueden sufrir deformaciones que dificultan su rotación haciendo que el soplado de tubos se dificulte.

Las empaquetaduras de las válvulas de vapor como de las prensas por donde pasa el tubo hacia el interior de la caldera suelen romperse o simplemente desgastarse provocando fugas de vapor, o fugas de gases calientes hacia la sala de maquinas. Por ultimo, las toberas de vapor ubicadas en el tubo de soplado, pueden obstruirse por partículas sólidas desprendidas de las tuberías y pueden también desgastarse por la erosión del vapor a alta velocidad que pasa por ellas.

2.7.- Prueba Hidrostática

Las Calderas Auxiliares se prueban hidrostáticamente para varios propósitos diferentes, es importante comprender en cada caso el motivo de la prueba y no exceder la presión de prueba especificada para ese propósito en particular. En general las calderas se prueban a tres presiones diferentes.

Una Prueba Hidrostática a la **Presión de Trabajo** de la caldera se lleva a cabo después de cada limpieza general de la caldera, después de haber realizado reparaciones menores como por ejemplo renovación de juntas de válvulas y de tapas de registro, o simplemente cuando se estime necesario probar la estanqueidad de las válvulas y accesorios, es por esto que a esta prueba también se le llama **Prueba Hidrostática de Estanqueidad de Accesorios**.

Una Prueba Hidrostática a **1.5 veces la Presión de Trabajo** de la caldera se lleva a cabo según reglamento cada 5 años y después de reparaciones soldadas en los colectores, incluyendo grietas en placas de tubos y el recambio de tubos de caída, esta prueba recibe el nombre de **Prueba Hidrostática de Resistencia de Materiales**.

La Prueba Hidrostática a **1.25 veces la Presión de Trabajo** es necesaria después de haber removido cualquier parte de la caldera sometida a presión, después del recambio de tubos generadores, y en cualquier otra oportunidad que se crea necesario, esta prueba es la que se realiza por parte de los inspectores de las Casas Clasificadoras y de la Autoridad Marítima Nacional.

Si bien la realización de esta prueba hidrostática es el mejor procedimiento para determinar la real condición en que se encuentra una caldera, las Casas Clasificadoras señalan que la ejecución de una de estas será llevada a cabo solo si el inspector lo estima necesario, por otra parte los fabricantes de calderas señalan que deberá efectuarse una prueba hidrostática cada vez que se efectúen reparaciones o se reemplacen piezas de una caldera, lo que redundará en que cada vez que se inspeccione la caldera interiormente (lado de agua), se deberá efectuar esta prueba, ya que para inspeccionar interiormente la caldera, se deben remover las tapas de registro y cambiar sus juntas al instalarlas nuevamente.

Tal como ocurre con los periodos entre inspecciones, los organismos inspectores de calderas difieren levemente en las presiones a las que se debe someter una caldera durante esta prueba hidrostática.

DIRECTEMAR.- En su Reglamento Para la Construcción Reparación y Conservación de Naves Mercantes y Especiales, establece que las pruebas hidrostáticas serán efectuadas si el inspector lo requiere y se realizarán a 1,25 veces la presión de trabajo de la caldera.

GERMANISCHER LLOYD.- La prueba hidrostática se efectuará si el inspector lo considera necesario y será a 1,3 veces la presión de trabajo de la caldera. En el caso de que se hayan efectuado reparaciones mayores, la presión de prueba será de 1,5 veces la de trabajo, no obstante en ninguno de los casos nombrados anteriormente, la presión de la prueba hidrostática será menor que la presión de trabajo aumentada en un bar, ni mayor a 1.5 veces la presión de diseño.

LLOYD'S REGISTER.- La prueba hidrostática será efectuará si el inspector lo requiere y la presión de la prueba será de 1,5 veces la presión de trabajo.

BUREAU VERITAS.- La presión de la prueba hidráulica se determina según los años de servicio y la presión de trabajo de la caldera. Para calderas de menos de 12 años de servicio, la presión de la prueba hidráulica será de:

$$P_h = 1,25 P_t \text{ si } P_t \leq 40 \text{ bar.}$$

$$P_h = (1,2 + 2) P_t \text{ si } P_t > 40 \text{ bar.}$$

Para calderas de doce años de servicio o más, la presión de la prueba hidráulica será de:

$$P_h = 1,15 P_t$$

Siendo **P_h** la presión de la prueba hidráulica y **P_t** la presión de trabajo de la caldera.

2.7.1- Procedimiento Para Realizar la Prueba Hidrostática

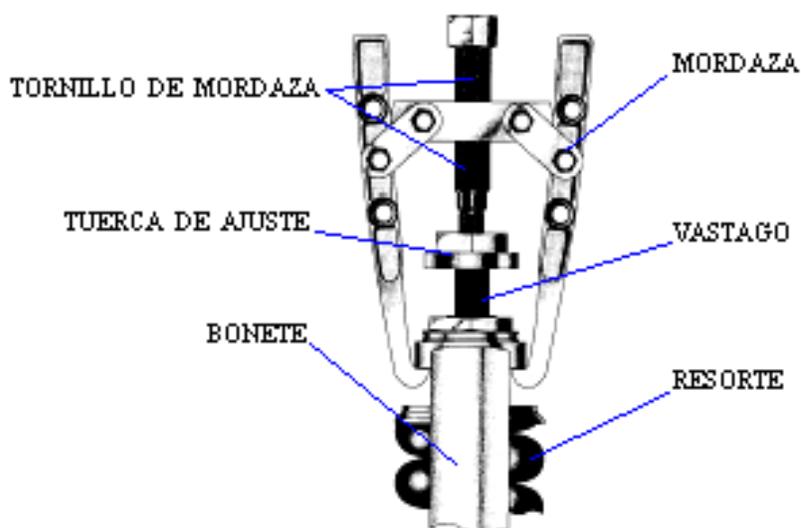
Las pruebas hidrostáticas de las calderas auxiliares, según lo descrito en el punto 2.7, se efectúan a distintas presiones dependiendo del propósito que esta tenga y de la institución inspectora, no obstante lo anterior, el procedimiento para llevar a cabo una prueba hidrostática, es el mismo, recalcando que una caldera no deberá jamás ser sometida durante a una presión mayor a la necesaria para efectuar la prueba hidrostática correspondiente.

A continuación se enumeran los pasos a seguir para llevar a cabo una prueba hidrostática de una caldera auxiliar.

Preparación

- a) Inspeccionar y remover toda la suciedad, herramientas y materiales extraños que pudieran encontrarse dentro de la caldera.
- b) Cerrar las tapas de registro.
- c) Abrir las puertas de acceso al fogón y las vías de gases.
- d) Limpiar el fogón y las vías de gases si se encuentran sucios.
- e) Probar los manómetros. (deben estar calibrados y en buen estado)
- f) Embarcar la caldera cerrando las siguientes válvulas:
 - Válvula principal de vapor.
 - Válvulas de corte de los transmisores de nivel para los controladores de nivel.
 - Válvulas de corte para los presostatos.
 - Válvula de extracción de superficie.
 - Válvula de alimentación auxiliar (agua).
 - Válvula de corte del dispositivo de apagado del quemador por bajo nivel de agua.
 - Válvula de purga de los visores de nivel.
 - Válvula de extracción de fondo.
 - Válvula de toma de muestras.
 - Válvulas de entrada y salida del agua / vapor de circulación (en el caso de los sistemas de calderas combinadas).

- g) Abrir las siguientes válvulas:
- Purga de aire del colector de vapor (cono atmosférico).
 - Válvulas de los manómetros.
 - Válvula principal de alimentación de agua.
 - Válvulas de corte de los visores de nivel.
- h) Asegurar las válvulas de seguridad de la caldera, se deberán trincar con mordazas para cargar los discos contra sus asientos para protegerlos de cualquier daño. Cuando la válvula es levantada por presión hidrostática, esta levanta solo ligeramente el disco exponiéndolo a atrapar materias extrañas que harán que la válvula se pase. Las mordazas deberán apretarse solo con la mano para evitar dañar el vástago de la válvula el cual se podría doblar de ser apretado en exceso, no debiendo usarse llaves por ningún motivo (**Figura N° 34**).



Trinca de Válvula de Seguridad

Figura N° 34

Desarrollo

- a) Llenar de agua la caldera a través de la línea principal de alimentación, asegurarse de usar agua que se encuentre a lo menos a la temperatura de la sala de maquinas, para detectar posibles fugas en piezas expandidas.
- b) Una vez que el nivel de agua sobrepase el de los visores de nivel, cerrar las válvulas de corte de estos.

Nota: Durante la prueba hidrostática, se puede abrir ocasionalmente las válvulas de corte de los visores de nivel para así chequear también su estanqueidad y su resistencia a la presión.

- c) Una vez que el agua comienza a salir por el cono atmosférico, este debe ser cerrado.
- d) Elevar gradualmente la presión del agua hasta llegar a la presión especificada para la prueba, luego cerrar la válvula de alimentación.
- e) Inspeccionar en busca de fugas en válvulas, juntas, partes expandidas, soldaduras, etc. La caída de presión es una señal de pérdida de estanqueidad cuando esta no puede detectarse a simple vista, en estos casos suele considerarse como aceptable una caída de presión de un 1,5% en el lapso de cuatro horas.
En el caso de que se encuentre una fuga o la caída de presión sea muy pronunciada se deberá drenar la caldera y reparar para luego volver a efectuar la prueba hasta descartar cualquier falla.
- f) Luego de finalizada la prueba hidrostática, abrir la válvula de extracción de fondo junto con el cono atmosférico y drenar la caldera.
- g) Liberar las válvulas de seguridad de la caldera.

Nota: En el caso de la prueba a 1,5 veces la presión de trabajo o prueba de resistencia de material, cuando se detecta cualquier falla, deberá suspenderse la prueba y las partes afectadas deberán ser reparadas, si las reparaciones no son posibles, deberá realizarse una nueva prueba progresiva hasta una presión de $1,4 \text{ Kg/cm}^2$ menor que la presión a la cual se suspendió la prueba anterior, si tal prueba tiene éxito, la nueva presión de trabajo deberá ser 67% de la presión de la prueba y las válvulas de seguridad deberán ser calibradas nuevamente de acuerdo a la nueva presión de trabajo.

CAPITULO III

MANTENCION DE CALDERAS AUXILIARES

3.1. Introducción.

Tal como se ha mencionado anteriormente, la caldera es un equipo crítico en una sala de máquinas moderna y requiere de un cuidado especial para asegurar su disponibilidad y evitar accidentes. La mejor forma para evitar accidentes es a través de una buena operación y de una mantención adecuada del equipo.

En el capítulo anterior ha quedado establecido que los daños más severos a la estructura de una caldera auxiliar, ya sea por el lado de gases como por el lado de agua, son provocados por la presencia de diversas sustancias adheridas a las superficies de la caldera (interior y exterior de los tubos, colectores, domo, refractarios, etc.), lo que recae en que la limpieza de la caldera es uno de los procedimientos de mantención preventiva más importantes en el trabajo de Ingeniero de Máquinas.

3.2. Limpieza del Lado de Gases de la Caldera.

La limpieza del lado de gases de la caldera auxiliar “SASEBO SCB – 015” se puede realizar principalmente de dos formas, limpieza mecánica, y lavado con agua a presión, con estos procedimientos se persigue conservar la eficiencia de la transferencia de calor de los gases de la combustión al agua de la caldera, evitar incendios por acumulación de hollín, y conservar en buenas condiciones los refractarios.

La limpieza mecánica de los lados de gases de una caldera auxiliar se efectúa desde las aberturas de las tapas de registro de los lados de gases y requiere de la utilización de herramientas especiales como escobillas metálicas, en ocasiones será necesario confeccionar varillas planas de metal, las que deben tener dientes de sierra afilados para poder remover las incrustaciones de entre las hileras de tubos.

Debido a que casi toda la escoria formada en los haces de tubos de la caldera consisten esencialmente de una base no soluble, rodeada de una capa soluble en agua, el uso de agua a presión cumple con el doble propósito de soltar las impurezas y arrastrar fuera de la caldera los residuos insolubles que han quedado en libertad.

Procedimiento para el lavado con agua:

- 1) Embarcar la caldera y dejar fuera de servicio el quemador de combustible.
- 2) Ventilar el fogón para eliminar los gases combustibles que pudieran encontrarse en el.
- 3) Abrir las tapas de registro para permitir el acceso a los lados de fuego.
- 4) Abrir las válvulas de drenaje de los lados de fuego de la caldera (**ver Figura N° 10**).
- 5) Instalar una lona en la descarga de los gases del fogón hacia la caja de humos, con tal de proteger los refractarios del piso del fogón.
- 6) Dar instrucciones detalladas al personal sobre las medidas de seguridad y proveerlos del equipamiento necesario para evitar que sufra quemaduras.
- 7) Suministrar agua dulce a un pitón a una presión de entre **10 y 14 Kg / cm²**. (**ver Figura N° 35**)



Equipo de Limpieza por Agua a Presion

Figura N° 35

- 8) Dirigir el pitón en dirección a la zona obstruida por la escoria en la mejor forma para remover las incrustaciones. Lo mas apropiado es comenzar la limpieza por las partes altas de la caldera descendiendo paulatinamente a medida que se van desprendiendo las incrustaciones y por ultimo arrastrando estas con la presión del agua hacia los ductos de drenaje de los lados de gases de la caldera.
- 9) Proveer de papel tornasol para la acidez del agua que sale del baldeo. El ácido de la incrustación u hollín vuelve rojo el papel tornasol (papel pH).
- 10) Luego del lavado con agua se puede desprender la escoria aflojada utilizando una manguera de aire comprimido.

- 11) Para secar la caldera luego del lavado, purgar cuidadosamente todos los excesos de agua de la caldera, cerrar las tapas de registro y desembancar la caldera, poner en servicio el quemador de combustible de forma intermitente (Ver Tabla de Secado) para permitir que la humedad que se puede haber acumulado en los refractarios, se evapore lentamente, luego abrir las tapas de registro para inspeccionar las condiciones del refractario, y repetir el procedimiento de ser necesario.

| Etapa | Quemador E/S | Quemador F/S |
|-------|--------------|--------------|
| 1 | 5 Min. | 10 Min. |
| 2 | 5 Min. | 10 Min. |
| 3 | 5 Min. | 10 Min. |
| 4 | 10 Min. | 10 Min. |
| 5 | 10 Min. | 10 Min. |
| 6 | 10 Min. | 10 Min. |
| 7 | 10 Min. | 10 Min. |

**Secado del Lado de Gases de Caldera “SASEBO SCB – 015”
Tabla N°1**

Nota: En algunas calderas es posible realizar el lavado de los lados de gases, inyectando agua a través de los sopladores de hollín, sin embargo, la utilización de mangueras de agua a permite un mejor acceso entre los tubos generadores de la caldera auxiliar ”SACEBO SCB – 015”.

3.3. Limpieza del Lado de Agua de la Caldera.

Es de mucha importancia para el Ingeniero de Maquinas, asegurarse que los lados de agua de las calderas se mantengan libres de incrustaciones o acumulaciones de sedimentos, el no llevar a cabo esto redundaría en el decrecimiento de la eficiencia de la caldera, debido a la pobre transferencia de calor y en casos mas graves es la causa directa de fallas de los tubos. La experiencia ha demostrado que las fallas debido al material defectuoso o a la fabricación de las calderas, son muy raras.

La gran mayoría de las fallas de las calderas que ocurren bajo condiciones de nivel de agua normal, son debido a la presencia de incrustaciones duras o más a menudo a las acumulaciones de materiales blandos como óxidos de fierro, cobre y zinc, y depósitos fangosos de los sólidos disueltos. Todo esto hace necesario realizar limpiezas de los lados de agua periódicamente, por lo general una caldera auxiliar no debe hacerse evaporar por mas de 1800 Hrs. Sin efectuar una limpieza interna (lado de agua).

La limpieza de el lado de agua de una caldera auxiliar se puede efectuar de varias maneras:

- a) Limpieza Mecánica (escobillado).
- b) Lavado con Agua a Presión.
- c) Hervido de la Caldera.

Todos estos procedimientos persiguen los mismos objetivos, mejorar la transferencia de calor del metal al agua y evitar sobrecalentamientos de las partes que tienden a acumular incrustaciones y fangos.

3.3.1. Limpieza Mecánica (Escobillado).

La limpieza mecánica de los lados de agua de las calderas auxiliares se lleva a cabo cada 1800 a 2000 horas de servicio, en cada periodo de limpieza deben limpiarse los tubos y los colectores, para ello se utilizan diversos equipos, el mas utilizado a bordo consiste en un motor neumático o eléctrico, un eje flexible cubierto, un porta escobillas y una escobilla de cerda de alambre (Figura N° 36).



Equipo de Limpieza Mecánica Para Calderas

Figura N° 36

La operación de los limpiadores de tubos ya sean eléctricos o neumáticos son esencialmente las mismas. Medir la longitud de los tubos insertando el limpiador en el interior de los tubos y marcar el eje flexible en el punto donde el extremo de la escobilla este en un mismo plano con el otro extremo del tubo pero sin sobrepasarlo. Todo esto con el motor de accionamiento sin energía.

Cuando todo esta listo para iniciar la limpieza, introducir la escobilla en el extremo del tubo, hacer girar y pasar lentamente a lo largo de el hasta que la marca indique que se ha escobillado toda la longitud del tubo y retirar lentamente el limpiador sin detener el eje hasta recorrer la longitud del tubo nuevamente, hacer tantas pasadas como sea necesario para limpiar completamente el tubo.



Limpieza Mecánica de Lados de Agua de Caldera Auxiliar

Figura N° 37

Deberá tenerse cuidado de no detener el movimiento del limpiador a lo largo del tubo ya que la acción prolongada de la escobilla en un área pequeña del tubo puede causar daños aunque sea por un tiempo corto. En ocasiones, los extremos de los tubos no reciben toda la acción limpiadora de la escobilla debido a que en estos extremos los tubos son expandidos por lo que su diámetro interior es mayor que las otras secciones del tubo, por esto es necesario hacer varias pasadas del limpiador en estas zonas (**Figura N° 37**). Generalmente se recomienda realizar un lavado con agua a presión luego de la limpieza mecánica, con tal de arrastrar fuera de la caldera las partículas desprendidas a causa de esta.

3.3.2. Lavado con Agua a Presión.

El lavado con agua a presión, en el lado de agua de la caldera, se realiza de manera muy similar al lavado de los lados de fuego, con la ventaja de que no hay peligro de mojar los refractarios, sin embargo también es necesario tomar en cuenta algunos procedimientos como; utilizar siempre agua dulce a presión y de preferencia a una temperatura alta (90 °C. aprox.), comenzar el lavado siempre por las partes altas de la caldera (domo del colector de vapor) e ir bajando paulatinamente con el objeto de arrastrar la suciedad hacia la cañería de extracción de fondo, por donde se expulsaran todas las impurezas que sean desprendidas con este lavado.

3.3.3. Hervido de la Caldera.

El hervido de la caldera no se lleva a cabo tan frecuentemente como la limpieza mecánica, si no que se efectúa preferentemente en calderas nuevas o cuando se han renovado tubos con el objetivo de que sean removidas todas las incrustaciones, trozos de grasa y aceites preservantes de las piezas que han estado almacenadas.

El procedimiento de hervido de la caldera auxiliar “SASEBO -015” puede llevarse a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- a) Limpiar de aceite los tubos y colectores de la caldera utilizando con paños limpios.
- b) Cerrar la tapa de registro del colector de agua.
- c) Abrir el cono atmosférico, la válvula de corte del manómetro, las válvulas de comunicación de los visores de nivel y la válvula principal de alimentación de agua, todas las demás válvulas deberán permanecer cerradas.
- d) Alimentar de agua dulce la caldera a través de la línea principal de alimentación.
- e) Detener la alimentación de agua cuando el nivel de esta se encuentre cerca de la tapa de registro del colector de vapor.
- f) Agregar soda cáustica y fosfato trisódico (**Figura N° 38**) al agua dentro de la caldera, la dosis debe ser de 7 Kg, de cada químico (3 Kg, de cada uno por cada tonelada de agua).



Químicos Para Hervido de Calderas

Figura N° 38

- g) Cerrar la tapa de registro del colector de vapor de la caldera.
- h) Reanudar la alimentación de agua, hasta alcanzar el nivel normal, luego cerrar la válvula principal de alimentación de agua.
- i) Poner en servicio el quemador de combustible, debido a que la caldera se ha encontrado fuera de servicio por un periodo prolongado, se recomienda llevar a cabo el régimen de encendido especificado en la **Tabla N°1**. Terminado este régimen de encendido, dejar en servicio el quemador.
- j) Una vez que la presión de vapor alcance los 1,5 Kg. / cm², cerrar el cono atmosférico.
- k) Dejar fuera de servicio el quemador de combustible cuando la presión de vapor alcance los 3,5 Kg / cm² y cuando la presión de vapor baje hasta los 2 Kg / cm², encender el quemador de combustible nuevamente y repetir esto por un espacio de 30 horas.
- l) Si en algún momento las alarmas de alto nivel de agua se activan, realizar una extracción de fondo hasta que el agua alcance un nivel normal.
- m) Luego de terminado el hervido de la caldera, dejar enfriar el agua y por medio de extracción de fondo vaciar la caldera.
- n) Lavar el interior con abundante agua a presión.

3.4. Reparación del Refractario.

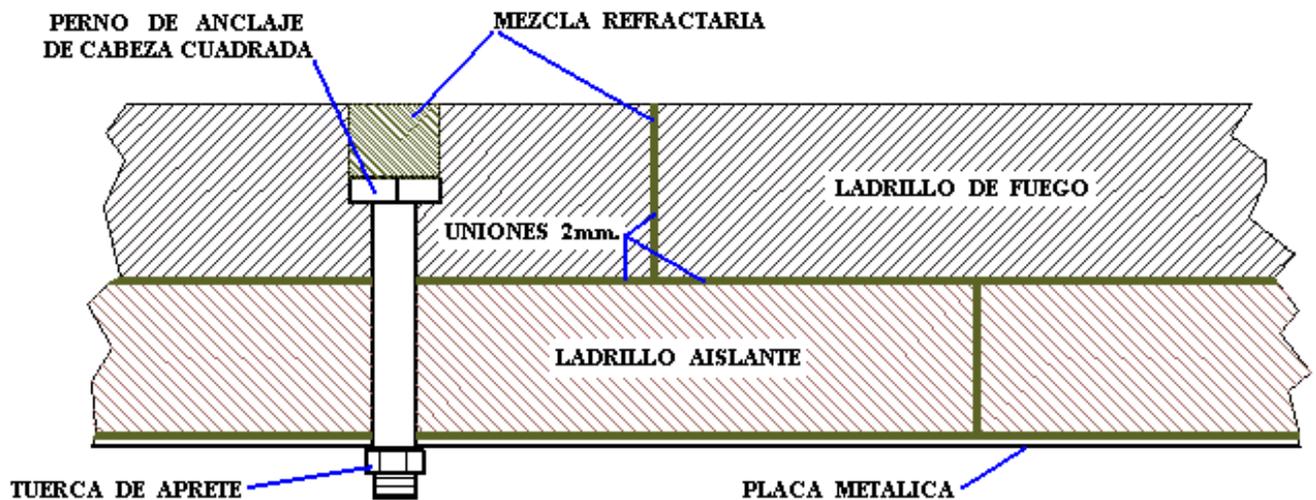
Para tener una referencia de la condición del refractario, suele inspeccionarse el lado inferior de las planchas que soportan el piso del fogón, cualquier decoloración del metal o ampollamiento de la pintura, indica pérdida de aislamiento y una excesiva penetración del calor.

Todos los agujeros deberán parcharse y los ladrillos sueltos o quebrados deberán ser renovados. Cada vez que se parcha o cuando se reenladrilla parcialmente, deben usarse la misma clase de ladrillos usados en el resto de la pared, de manera de evitar la diferencia de características físicas y térmicas.

La pérdida de mezcla entre los ladrillos, permite la penetración del calor entre ellos, lo que puede causar grietas debido a esfuerzos de expansión desiguales, en cualquier momento que se abran los lados de fuego, las paredes deberán ser cuidadosamente inspeccionadas y de encontrar aberturas en las uniones, estas deberán ser rellenadas con mezcla de secado al aire.

Cuando la condición del enladrillado o de algunos ladrillos amerita el recambio de ladrillos, deberán tenerse presentes las siguientes acotaciones.

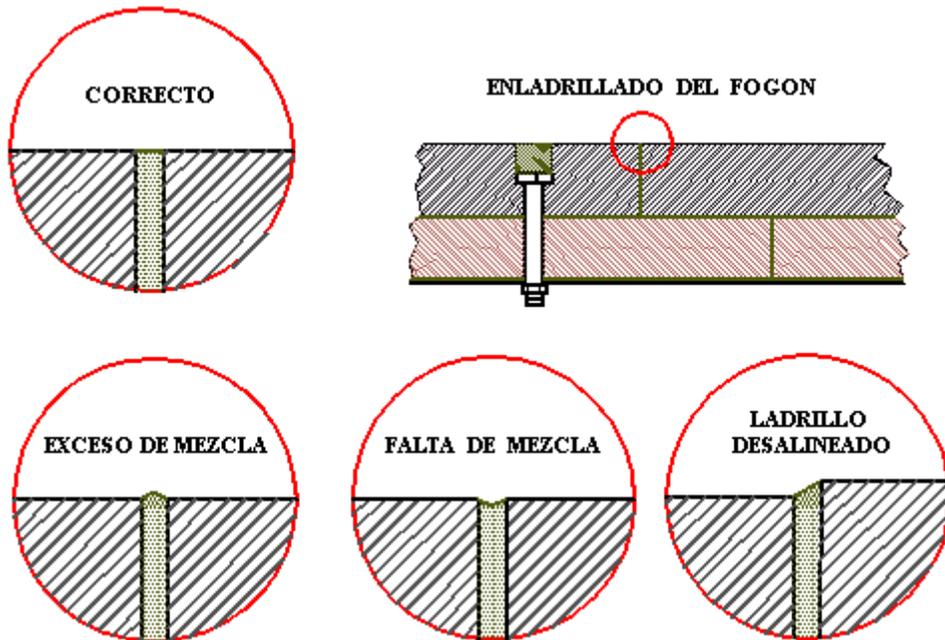
- a) Preparar mezcla de secado al aire teniendo cuidado de que esta sea de una fineza uniforme, mezclándola completamente antes de agregar el agua, cualquier aglomeración debiera ser eliminada y la cantidad de agua a agregar esta determinada por la consistencia, la cual debe ser tal que penetre en los puntos mas finos de los ladrillos. Para conservar la consistencia de la mezcla a lo largo del proceso de instalación de los ladrillos, debiera agregarse agua a la mezcla cada cierto tiempo para evitar que se endurezca.
- b) El ladrillo debe ser instalado con su mejor cara, es decir la que presente menos porosidades o rugosidad, hacia el lado del fogón.
- c) Tomar el ladrillo y sumergir su fondo en la mezcla, no colocar mezcla en la pared de la caldera ni en el ladrillo, la mezcla que se adhiere al ladrillo al sumergirlo, es suficiente para la instalación.
- d) Poner el ladrillo rápidamente en su posición y pisonearlo con un trozo de madera hasta que no se exprima mas mezcla desde las uniones. El espesor de las uniones no debe ser mayor que 2 mm.
- e) Poner especial atención a la alineación de los ladrillos con los agujeros de pasada de los pernos de anclaje.



Enladrillado del Fogón de la Caldera "SASEBO SCB - 015"

Figura N° 39

- f) Las caras de los ladrillos del fogón deberán estar en el mismo plano y sin ningún borde saliente ya que esto originaría un rápido deterioro del enladrillado.



Defectos en el Enladrillado del Fogón

Figura N° 40

- g) Llenar las desigualdades de la costura en el lado del fogón con una pequeña espátula y asegurar que no haya bordes de ladrillos expuestos ni excesos de mezcla.
- h) Un recubrimiento refractario nuevo o que haya sido reparado deberá ser calentado y secado cuidadosamente, siguiendo el régimen de encendido especificado para la caldera “SASEBO – 015”.

| Etapa | Quemador E/S | Quemador F/S |
|-------|--------------|--------------|
| 1 | 5 Min. | 10 Min. |
| 2 | 5 Min. | 10 Min. |
| 3 | 5 Min. | 10 Min. |
| 4 | 10 Min. | 10 Min. |
| 5 | 10 Min. | 10 Min. |
| 6 | 10 Min. | 10 Min. |
| 7 | 10 Min. | 10 Min. |

Secado del Lado de Gases de Caldera “SASEBO SCB – 015”
Tabla N°1

3.5. Reparación de Tubos.

En el caso de que un tubo falle, la mejor medida a tomar es el recambio del tubo defectuoso por uno nuevo, sin embargo en la mayoría de los casos, esto no es posible, al menos en el corto plazo. Cuando esta situación se presenta, el tubo defectuoso se debera taponear con un tapon metálico, como medida de emergencia, y el tubo defectuoso debera ser reemplazado por uno nuevo a la primera oportunidad.

3.5.1. Taponeado de Tubos.

Incluidos en las piezas de repuestos para las calderas, hay tapones sólidos de metal, (los de uso mas comun son los tapones de bronce) ligeramente cónicos para tapar tubos defectuosos, cuando las condiciones existentes no permiten su recambio (**Figura N° 41**).



Tapones de Bronce Para Tubos de Calderas

Figura N° 41

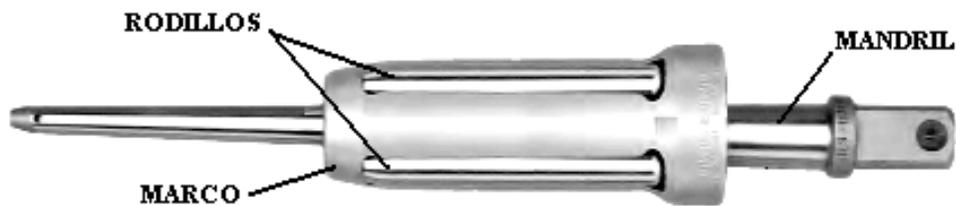
Para efectuar el taponeado, el interior de los extremos de los tubos y el exterior de los tapones deben ser limpiados de toda incrustación, aceite, rebarbas y materias extrañas. La parte mas pequeña del tapón es insertada dentro del tubo y el tapón es ajustado en su lugar golpeándolo tres o cuatro veces con un martillo de metal blando (cobre o bronce) de 0,5 a 1,0 Kgs, asegurándose que este sea introducido de forma uniforme y normal en el colector. El tapon no deberá meterse muy apretado, solo lo necesario para asegurar que permanezca en su lugar.

Después de taponear un tubo en la caldera, debera llevarse a cabo una prueba hidrostática a 1,25 veces la presión de trabajo de la caldera, para verificar la estanqueidad del tapon.

3.5.2. Recambio de Tubos.

Cuando sea necesario y posible realizar el recambio de tubos, debe efectuarse el siguiente procedimiento.

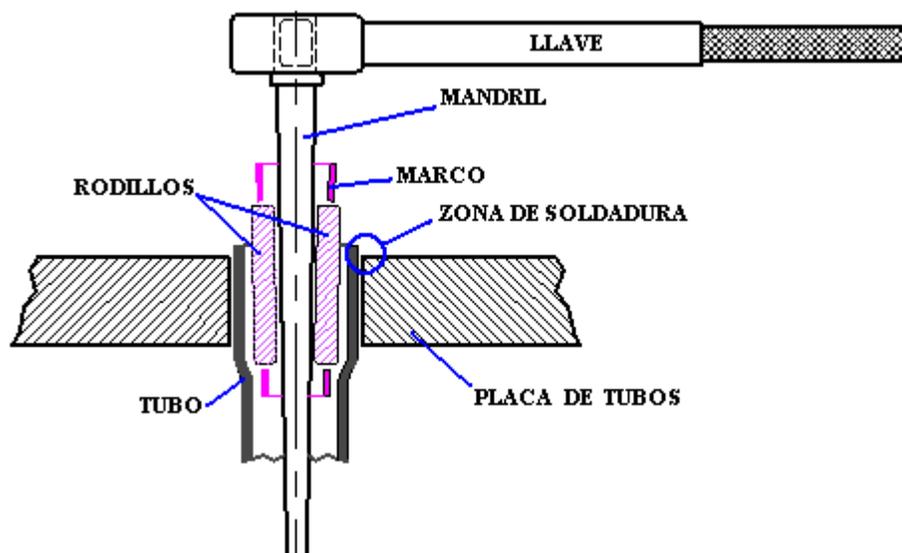
- a) Cortar el tubo defectuoso a 25 o 50 mm. De distancia de cada colector y remover.
- b) Retirar de los colectores, las partes sobrantes del tubo teniendo cuidado de no dañar los colectores.
- c) Limpiar los agujeros de tubos en los colectores y los extremos del tubo con papel de lija.
- d) Insertar el tubo en los agujeros de los colectores y fijar a ellos con un expansor de tubos (**Figura N°42**).



Expansor de Tubos de Calderas

Figura N° 42

- e) Una vez que el tubo es puesto en su lugar, limpiar y lubricar el interior del tubo, los rodillos y el mandril.
- f) Insertar el Expansor dentro del tubo, solo lo suficiente para expandir una longitud del tubo igual al espesor de la placa soporte del mismo tubo.



Expandido de Tubo de Caldera

Figura N° 43

- g) Una vez insertado el Expansor en el tubo, el mandril debe ser presionado ligeramente hacia dentro del tubo, luego con una llave de palanca, girar en sentido horario, automáticamente el mandril comenzara a penetrar dentro del marco, abriendo los rodillos y haciéndolos girar al mismo tiempo produciendo el expandido del tubo.
- h) Una vez que la expansión del tubo sea suficiente para mantenerlo firme a la placa, invertir el sentido de giro del mandril y retirar el Expansor del tubo.
- i) Soldar el tubo a la placa por el lado de agua de la caldera.
- j) Confirmar la estanqueidad del tubo mediante una prueba hidrostática.

Nota: Recordar que el expandido y la soldadura deben realizarse en ambos extremos del tubo, es decir en la unión con ambos colectores.

3.6. Mantención del Agua de Calderas Auxiliares.

Si bien es cierto, la limpieza y reparación de los lados de agua de la caldera, son muy importantes para la prolongación de la vida útil de la planta generadora de vapor, cabe señalar que gran parte de las fallas que se presentan en una caldera auxiliar son producidas por una deficiente calidad del agua de caldera. La calidad del agua de la caldera se puede definir por varios parámetros, como la alcalinidad, el contenido de cloruros, el pH, etc.

Existen límites recomendados de estos parámetros, para el agua de caldera, particularmente para la caldera “SASEBO SCB – 015”, los límites son los siguientes:

| ITEM | UNIDADES | LIMITES |
|--------------------------|-----------------|--------------------|
| pH | ----- | 10.8 – 11.3 |
| ALCALINIDAD | ppm. | Max. 500 |
| SÓLIDOS DISUELTOS | ppm. | Max. 2000 |
| FOSFATOS | ppm. | 20 – 40 |
| CLORUROS | ppm. | Max. 300 |

“Límites de Calidad del Agua de Caldera SASEBO SCB – 015”

Tabla N°2

Para mantener la calidad del agua de caldera dentro de los límites aceptables, se hace necesario realizar un tratamiento adecuado de la misma, este tratamiento consiste principalmente en la aplicación de ciertos químicos al agua de caldera, y en casos más extremos la realización de extracciones de fondo y de superficie. Las extracciones de fondo se llevan a cabo para extraer los fangos pesados que se precipitan al fondo de la caldera y las extracciones de superficie para retirar del agua las impurezas que tienden a acumularse cerca de la superficie de la misma, como por ejemplo los aceites.

La caldera “SASEBO SCB – 015” es tratada con dos agentes químicos, estos son **AMEROID GC** y **AMEROID ADJUNCT B**, el primero de estos se encarga de controlar la alcalinidad del agua y el segundo se encarga de convertir la dureza del agua en un fango inofensivo que se precipita al fondo del agua desde donde es fácil removerlo a través de extracciones de fondo.

Las **Figuras N° 44 y N° 45** muestran la cantidad de químicos que deben aplicarse al agua o la necesidad de efectuar una extracción de fondo a la caldera para mantener los parámetros de calidad del agua dentro de los límites aceptables.

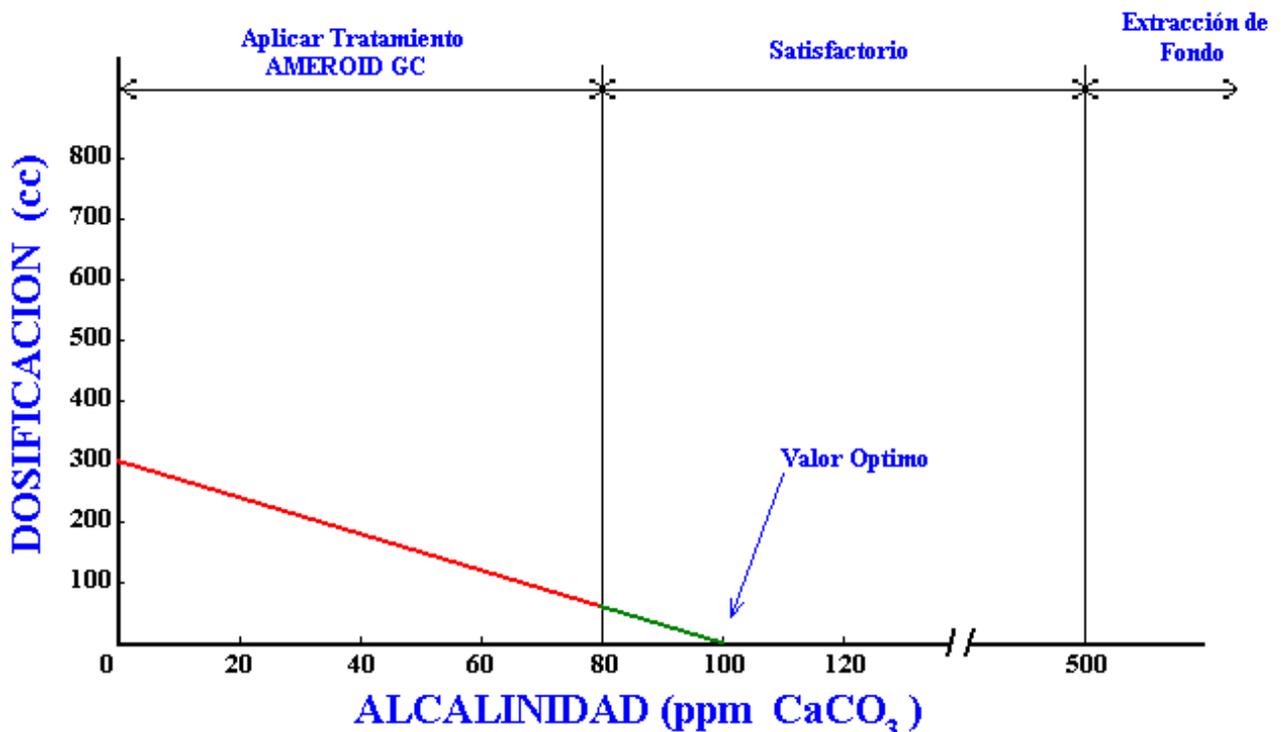


Tabla de Dosificación de Tratamiento AMEROID GC v/s Alcalinidad del Agua

Figura N° 44

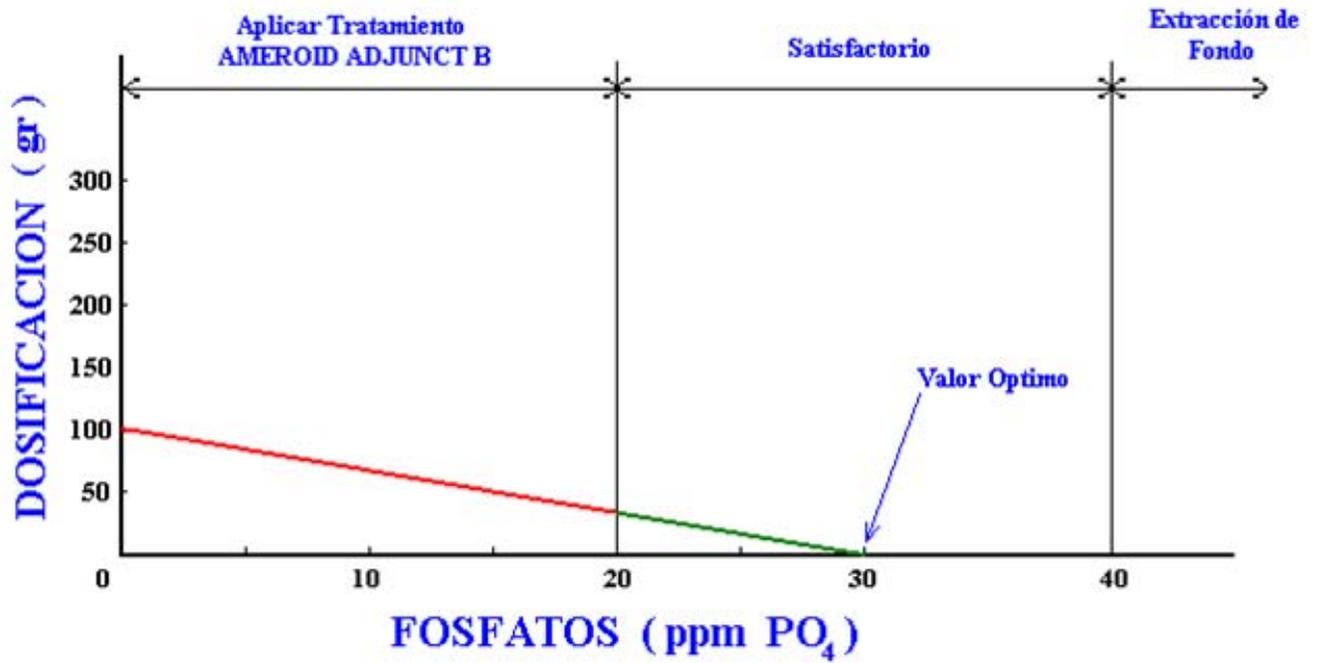


Tabla de Dosificación de AMEROID ADJUNCT B v/s Fosfatos

Figura N° 45

Nota: Los procedimientos para realizar los análisis de Fosfatos, Alcalinidad, y Cloruros se encuentran detallados en el **Anexo N° 1**.

CAPITULO IV

MANTENCION DE ACCESORIOS DE CALDERAS AUXILIARES

4.1. Válvulas de Seguridad.

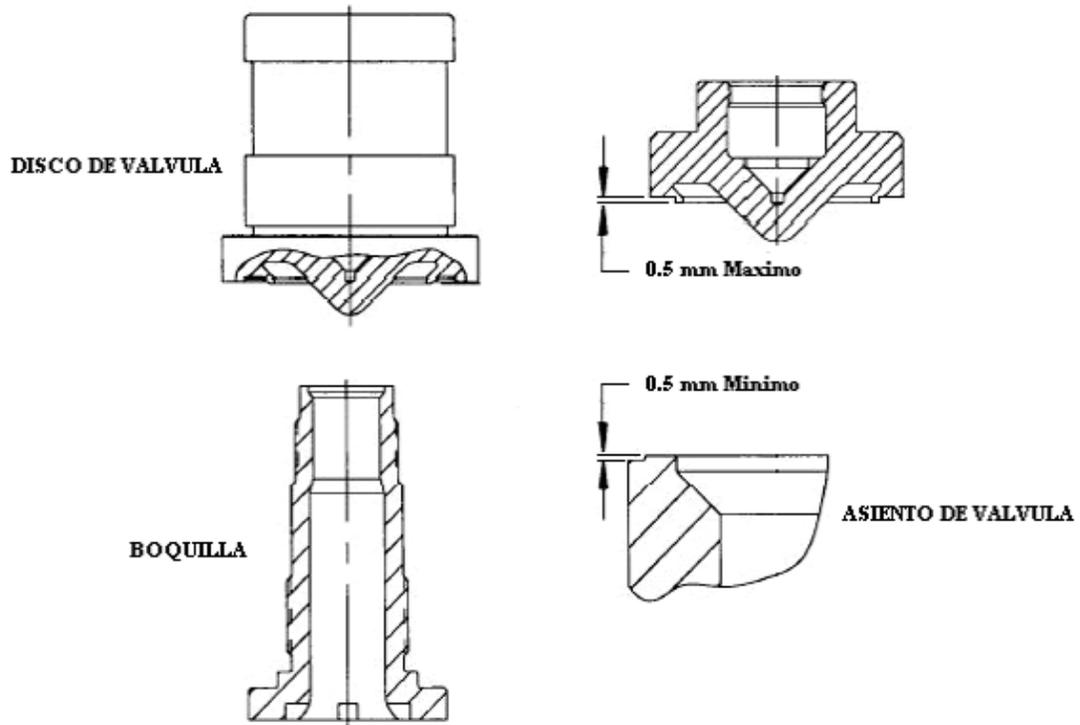
Después de cada periodo de limpieza o recorrida general de la caldera y antes de ponerla en servicio, deberán probarse las válvulas de seguridad, levantando individualmente con vapor y calibrándolas de nuevo en caso de haber alguna variación de la presión de escape requerida. Las válvulas de seguridad deberán probarse con vapor en cualquier otra ocasión que su operación indique que es necesario una prueba.

Antes de encender una caldera, deberá examinarse totalmente el mecanismo para levantar a mano las válvulas de seguridad, teniendo cuidado de no despegar la válvula de su asiento. La válvula solo puede accionarse a mano una vez que la presión de vapor permita efectuar un buen soplado de modo que no se depositen incrustaciones en los asientos de las válvulas, incrustaciones que pueden generar filtraciones.

Las filtraciones se caracterizan por un silbido constante a presiones bajo el punto en que la válvula deja de escapar y son causadas por asientos dañados, sucios, o partes defectuosas. Se puede tratar de eliminar las filtraciones levantando manualmente la válvula y asíéndola soplar bastante, lo cual podría remover la causa de la filtración, de no obtener un resultado positivo con este procedimiento, la filtración puede estar siendo producida por una superficie imperfecta del asiento de la válvula, en tal caso, la válvula deberá ser desarmada y el asiento deberá ser rectificado o reemplazado.

Para la operación satisfactoria de las válvulas de seguridad, es importante que sean mantenidas las dimensiones originales de los asientos de válvula, por consiguiente, el rectificado y subsiguiente ajuste de las partes de las válvulas deberá mantenerse en un mínimo (**Figura N° 46**) y las partes muy gastadas deberán ser reemplazadas.

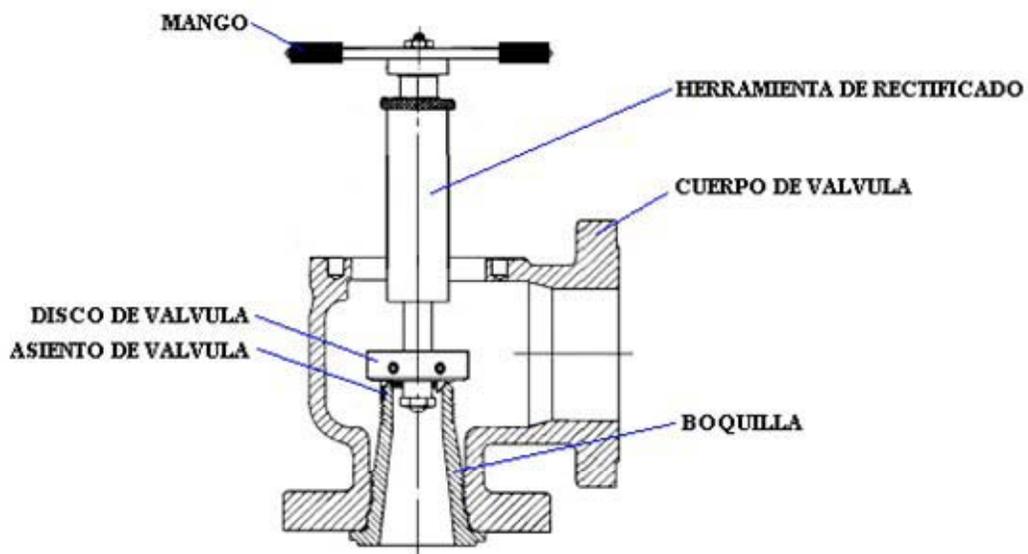
El rectificado de una válvula de seguridad implica un alejamiento de las dimensiones originales del asiento y del disco de la válvula aun cuando la cantidad de metal que se saque sea pequeña. Generalmente con el primer rectificado se obtienen buenos resultados en orden a eliminar filtraciones, sin embargo no es seguro suponer que rectificaciones posteriores remedien en forma efectiva nuevas filtraciones.



Limite de Rectificado de Asiento y Disco de Válvula de Seguridad

Figura N° 46

Para el rectificado de una válvula de seguridad se utiliza una herramienta que consiste en una barra con hilo que se fija al disco de la válvula, provista de un mango en forma de T, para rodar el disco de la válvula sobre el asiento de la misma (**Figura N° 47**). Antes de comenzar a rectificar la válvula, es bueno friccionarla sobre el asiento seco para ver si esta haciendo contacto en un solo punto, una vez que esta situación se ha descartado, aplicar pasta esmeril fina a ambas superficies y hacer rotar con un movimiento continuo; sacar frecuentemente la pasta esmeril e inspeccionar ambas superficies para evitar una erosión excesiva.

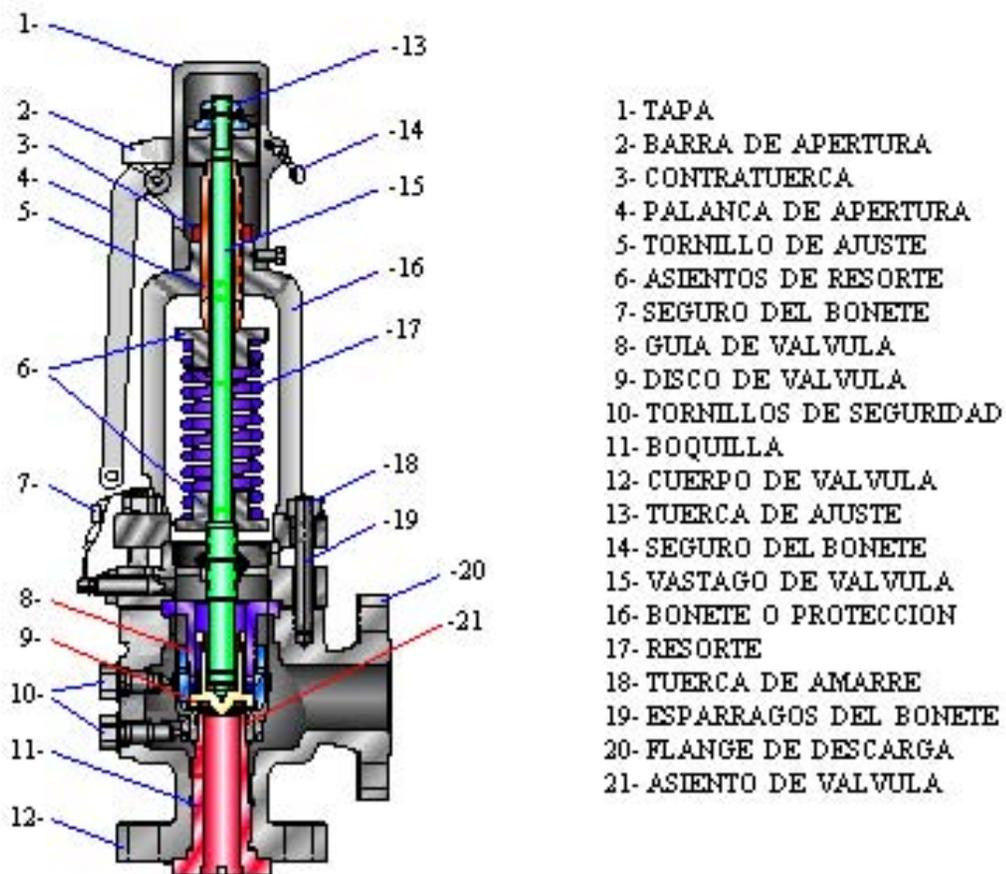


Herramienta de Rectificado de Válvulas

Figura N° 47

Una vez que el asiento y el disco de la válvula se encuentran correctamente asentados se puede proceder a armar nuevamente la válvula, para esto deben seguirse ciertas precauciones, como por ejemplo limpiar todas las superficies de unión (flanges) e hilos de los espárragos, tornillo y tuerca de ajuste, lubricar todos los hilos y la guía de la válvula, armar asegurándose de apretar todas las tuercas de manera uniforme, por ultimo es importante señalar que el mecanismo de apertura manual (tapon, palanca de apertura y barra de apertura), no debe ser armado hasta que se haya probado la válvula y se haya determinado que la presión de apertura es la adecuada, de lo contrario, la válvula se deberá calibrar.

Para cambiar la presión de apertura (calibrar) de la válvula de seguridad, soltar la contratuerca del tornillo de ajuste. El disco de la válvula no debe girar en su asiento, por esta razón, la presión de levante deberá ser ajustada mientras la válvula está soplando o cuando la presión bajo el asiento está por lo menos 1 Kg/cm^2 bajo la presión de apertura que se requiere. Subir la presión de la caldera hasta que la válvula se abra, luego permitir que la válvula cierre al bajar la presión y entonces hacer los ajustes necesarios haciendo girar el tornillo de ajuste en la dirección deseada. Subir de nuevo la presión de la caldera para ver si la válvula está cargada a la presión requerida, en caso contrario repetir el proceso hasta alcanzar la presión de apertura deseada y reapretar la contratuerca.

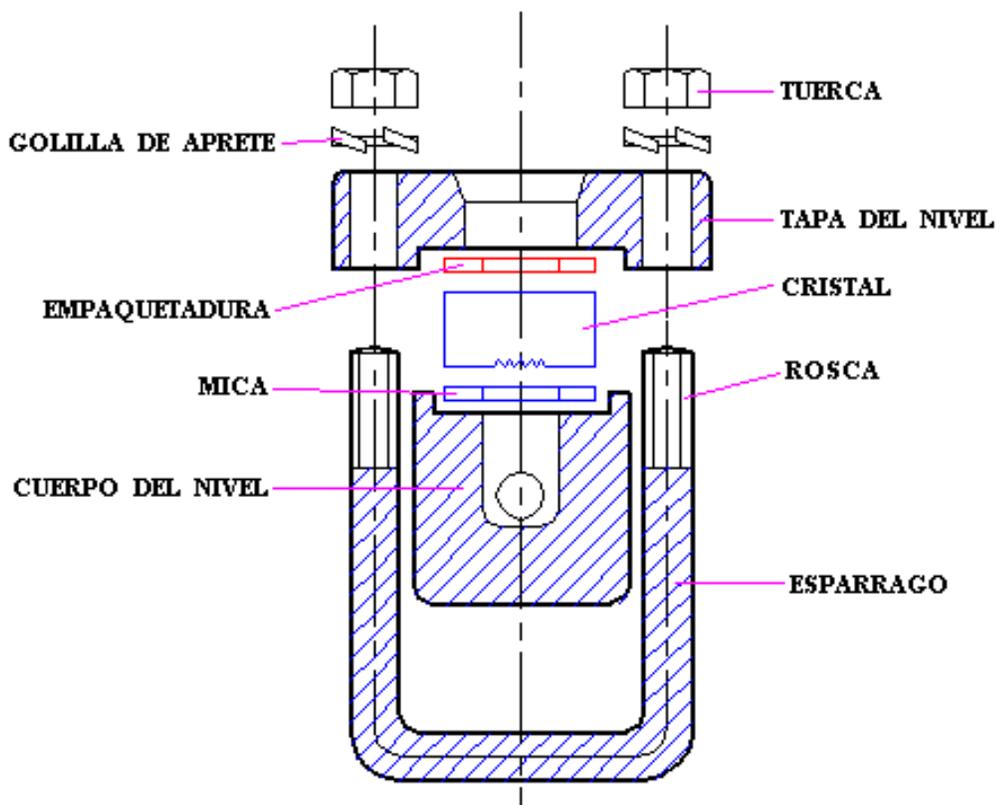


Válvula de Seguridad

Figura N° 48

4.2. Niveles de Agua. (Niveles Locales)

El visor de nivel “SASEBO – RU20” esta diseñado y construido para servir en el campo de la medición de niveles de líquidos a altas temperaturas y presiones, su construcción es bastante simple (**Figura N° 49**) lo que facilita su desarme para mantención, las ranuras que presenta el vidrio del visor hacen que al estar trabajando el visor con un liquido transparente, la porción del visor que se encuentra bajo el, se torne oscura, proporcionando una clara apreciación del nivel, sin embargo si las conexiones de la parte superior o inferior se encuentran bloqueadas o parcialmente obstruidas por materias extrañas, se puede generar una señal errónea de nivel, para evitar esta situación se debe purgar ocasionalmente el nivel.

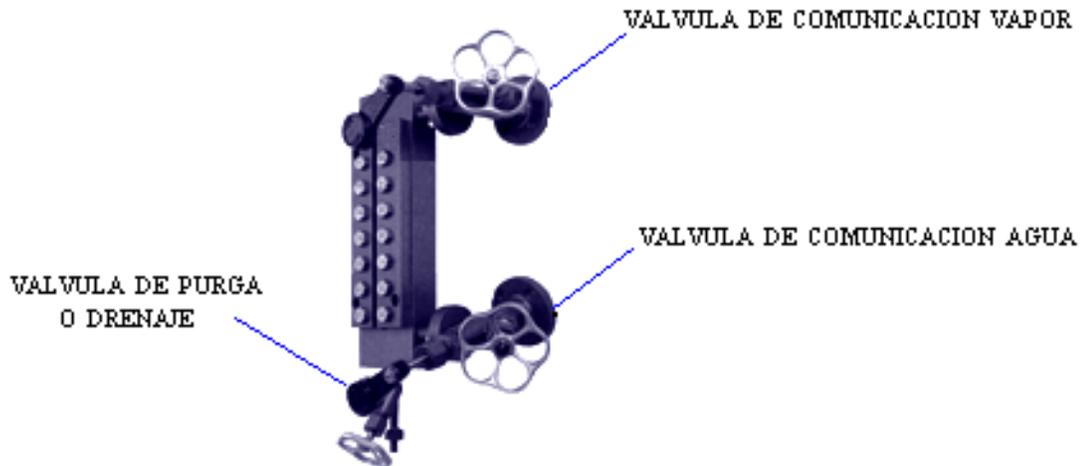


Despiece del Visor de Nivel SASEBO – RU20

Figura N° 49

Para efectuar este procedimiento se utilizan las válvulas con las cuales esta equipado el nivel (**Figura N° 50**), normalmente en las calderas navales estos cuentan con tres válvulas, válvula de comunicación de vapor, válvula de comunicación de agua, y válvula de drenaje o purga. En primer lugar se cierra la válvula de comunicación de vapor y se abre la válvula de drenaje, esto permite fluir el agua a través de la conexión y a través de la purga limpiando las obstrucciones, la razón para limitar el flujo desde la parte superior es evitar el daño a la mica por la acción erosiva del chorro de vapor.

Luego de este drenaje, se debe cerrar la válvula de comunicación de agua y la purga del nivel, entonces lentamente se comienza a abrir la válvula de comunicación de vapor para presurizar el cuerpo del nivel y luego lentamente se abre la válvula de comunicación de agua, una vez que el nivel se haya estabilizado y chequeado que no se registran fugas de ningún tipo, abrir completamente ambas válvulas para dejar en servicio el visor de nivel.



Válvulas de Visor de Nivel

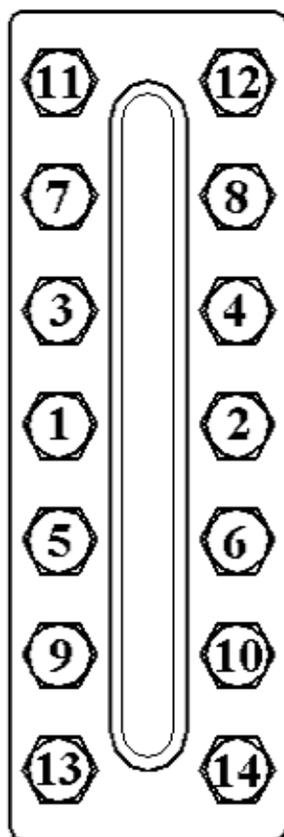
Figura N° 50

El visor deberá ser frecuentemente examinado visualmente para ver si hay filtraciones alrededor de los vidrios, ya que las filtraciones en estos puntos causaran un rápido deterioro. La estructura del visor de nivel, debe ser desensamblada a lo menos dos veces al año poniéndose particular atención al estado de la mica, mientras el desgaste por el uso no la haya atravesado, el vidrio será útil para continuar en servicio.

Al desensamblar el visor deberá tenerse en cuenta ciertas consideraciones como, trabajar siempre sobre una superficie limpia, limpiar bien todas las partes metálicas evitando usar raspadores y herramientas endurecidas que puedan dañar las superficies. Si la mica está áspera o rayada deberá ser reemplazada por una nueva, de lo contrario se la debe lavar con alcohol, para remover la grasa e impurezas sin dejar residuos.

Ensamblaje:

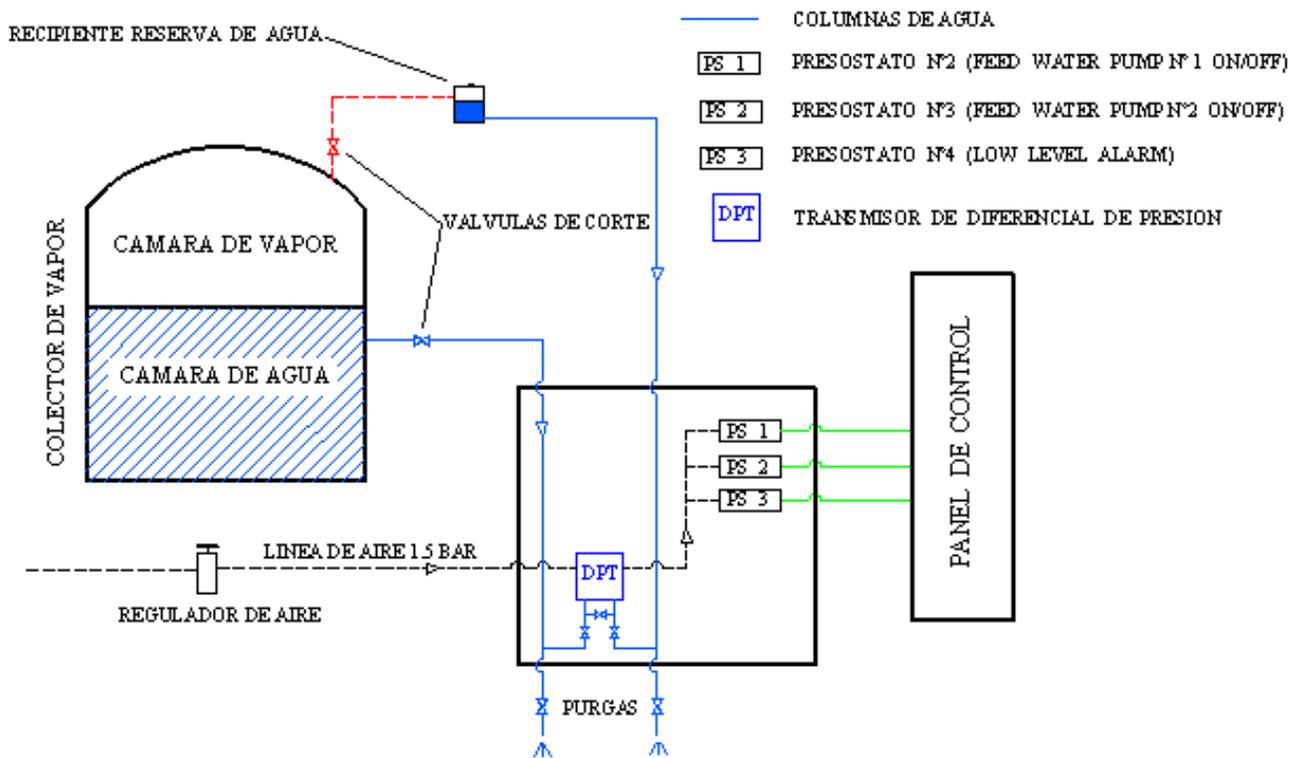
- a) Asegurarse de usar empaquetadura nueva y de ser necesario mica nueva.
- b) Chequear la limpieza de cada componente y ensamblar la mica y el cristal al cuerpo del visor, asegurándose de colocar el lado estriado del cristal hacia el cuerpo del visor.
- c) Colocar la empaquetadura en la tapa del visor y montar sobre el cristal.
- d) Insertar los espárragos, las golillas de presión y las tuercas.
- e) Las tuercas deben ser apretadas en la secuencia que muestra la **Figura N° 51** y con un torque de entre **200 y 250 Kg. / cm.**
- f) Después que los niveles están instalados y se comunica el vapor y el agua y estos comienzan a calentarse, hay una expansión de las partes metálicas, la cual a su vez hace que las tuercas se suelten, por consiguiente es aconsejable reapretar las tuercas ligera y uniformemente hasta que estén lo suficientemente apretados para evitar filtraciones.



Secuencia de Aprete de Tuercas
Visor de Nivel "SASEBO - RU20"
Figura N° 51

4.3. Regulador de Alimentación.

El sistema de regulación de alimentación de la caldera SASEBO SCB – 015 es del tipo de “columna de agua” y la mantención de este se puede reducir a procedimientos regulares de purgas y soplados de las cañerías de las columnas de agua y de aire, procedimientos que se llevan a cabo por lo menos una vez por mes en el caso de las cañerías de agua y una vez al día en el caso de las cañerías de aire.



Regulador de Alimentación de Agua

Figura N° 52

El purgado de la cañería de aire se realiza abriendo una válvula de purga en el regulador del aire de control, esto se puede realizar mientras la caldera está en servicio teniendo la precaución de mantener la presión de 1,5 BAR que se suministra al transmisor de diferencial de presión.

Para realizar el procedimiento, de purga y soplado de las cañerías de las columnas de agua se debe embancar la caldera y verificar que tanto el quemador de la caldera, como las bombas de alimentación de agua están desenergizados para evitar que estos se pongan en servicio mientras se esta trabajando en el sistema de regulación de nivel de agua. Una vez que esto se ha verificado, cerrar las válvulas de corte que comunican las columnas de agua con el colector de vapor de la caldera y abrir las válvulas de purga de las columnas de agua dejando caer toda el agua de ambas columnas y del recipiente de reserva de agua, usualmente puede acumularse restos de oxido, los cuales al acumularse en las cañerías, podrían provocar fallas en el sistema, por lo cual también suele soplar con aire el interior de las cañerías. Para esto se utilizan mangueras que son conectadas a alguna toma de aire a presión dentro de la sala de maquinas y se conectan a uno de los extremos de las cañerías asegurándose que el otro extremo se encuentre desconectado de la válvula de corte, una vez que esto se ha verificado se procede a soplar con aire las cañerías, barriendo con todas las impurezas que se encuentran dentro de ellas.

Para terminar con las purgas y el soplado de las columnas de agua, se deben cerrar las válvulas de purga, rellenar el recipiente de reserva de agua, abrir las válvulas de corte del colector de vapor, desembancar la caldera y por ultimo energizar el quemador y las bombas de alimentación de agua.

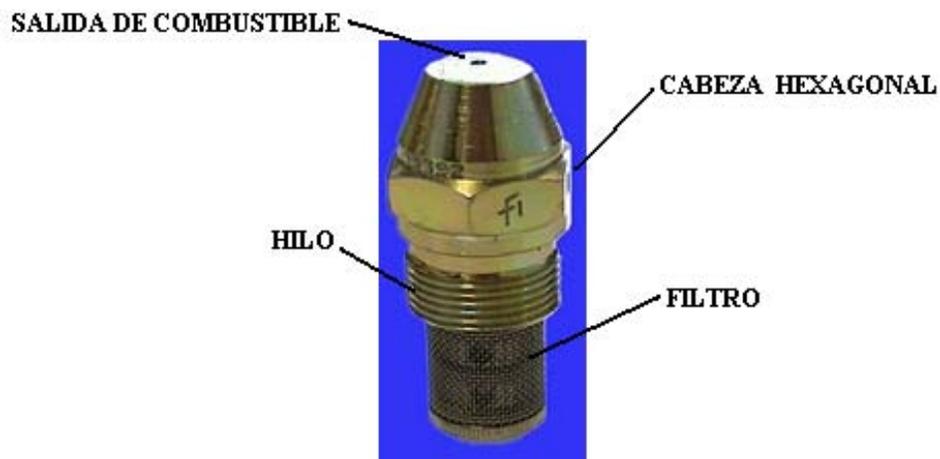
4.4. Quemador.

El mantenimiento del quemador de combustible de la caldera auxiliar es uno de los procedimientos de mantención mas importantes que debe realizar el Ingeniero de Maquinas encargado de la planta de vapor, también se puede decir que es uno de los mas frecuentes ya que al trabajar frecuentemente quemando combustibles pesados (IFO 180), es necesario realizar un desmontaje y limpieza del quemador cada 350 horas de funcionamiento, como es el caso del quemador SUNFLAME SSC – 4.

Una recorrida del quemador SUNFLAME SSC – 4 se puede realizar tomando en cuenta las siguientes precauciones:

- a) Antes de comenzar con la recorrida del quemador, se debe tener la precaución de ventilar el fogón para descartar la presencia de gases inflamables en su interior, luego de esto se puede desenergizar el tablero de control del quemador, desconectar las cañerías de combustible, el detector de llama y el enchufe de la señal de ignición.

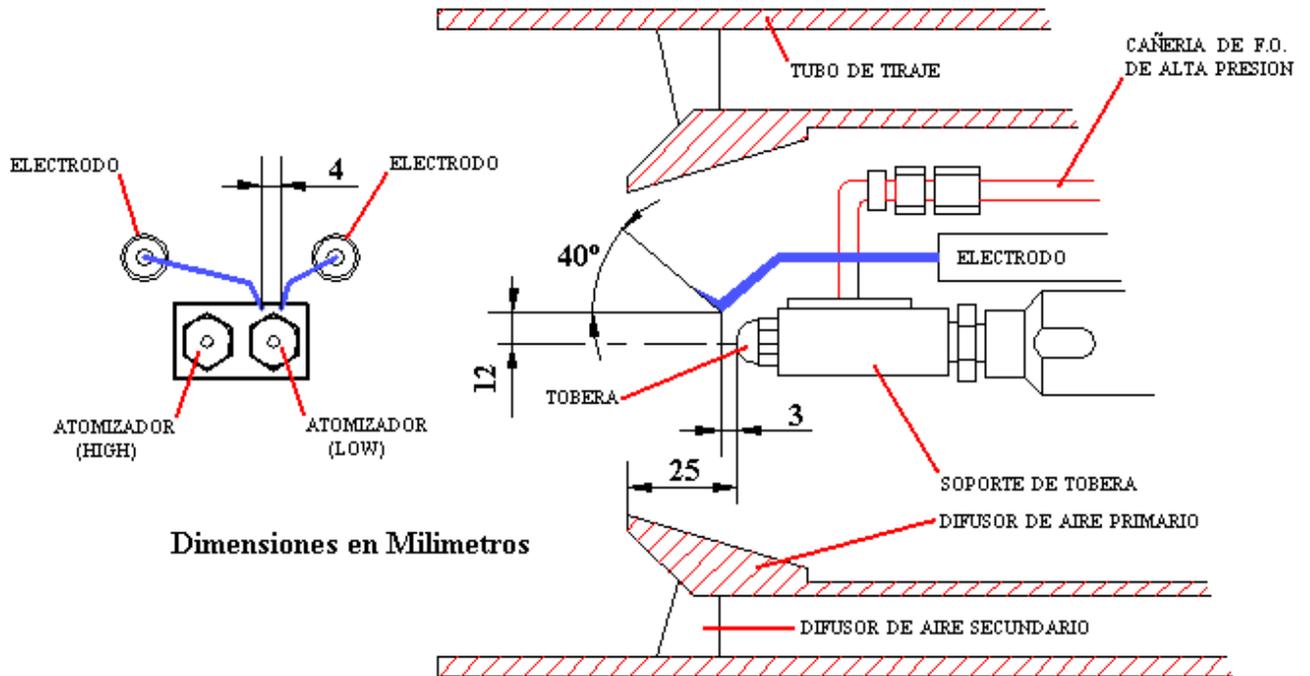
- b) Soltar los pernos de la puerta del fogón y retirar el quemador.
- c) Retirar los atomizadores de combustible, teniendo cuidado de no dañar los electrodos.
- d) Desmontar el filtro del atomizador y limpiar cuidadosamente con parafina o diesel.



Atomizador de Combustible

Figura N° 53

- e) Los electrodos también deberán ser limpiados con parafina o diesel, ya que suelen acumular restos de combustible en los extremos, el cual se carboniza dificultando la generación de la chispa de ignición
- f) El detector de llama consiste en una celda fotoeléctrica la cual al detectar la luz de la llama del quemador en servicio envía una señal al tablero de control para que el flujo de combustible se mantenga, en caso de que la celda fotoeléctrica se encuentre sucia, esta enviara una señal errónea de falla de la llama, lo cual cortara el flujo de combustible al quemador impidiendo la generación de vapor, es por esta razón que es de vital importancia mantener limpio este sensor. El detector de llama se puede limpiar con un paño y no es necesario desmontar el quemador para limpiar el detector, solo basta con retirarlo de la puerta del fogón cuando el quemador no esta en servicio.
- g) Una vez que los electrodos, los atomizadores y el detector de llama están limpios, se puede ensamblar el quemador nuevamente teniendo en cuenta la distancia que debe haber entre ambos electrodos y entre los electrodos y atomizadores, estas dimensiones se ilustran en la **Figura N° 54**.
- h) Probar la atomización del inyector de F.O. en un Banco de Pruebas.

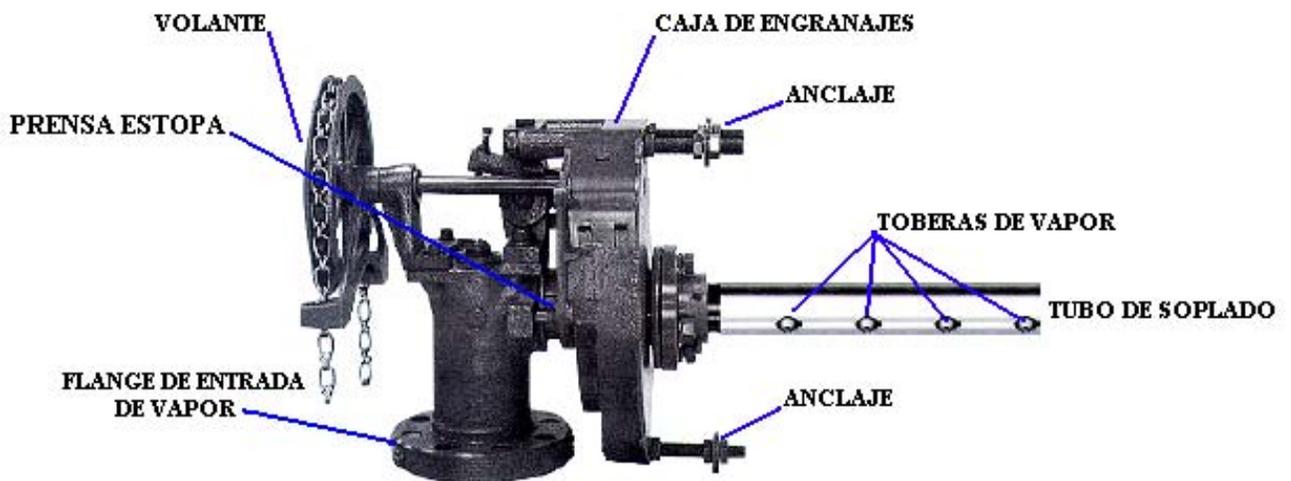


Ensamblaje del Quemador SUNFLAME SSC- 4

Figura N° 54

4.5. Soplador de Hollín.

La mantención de los sopladores de hollín de calderas auxiliares, se limita principalmente a prevenir y corregir problemas de, obstrucción de las toberas, fugas de vapor y atascamiento del volante.



Soplador de Hollín de Caldera Auxiliar

Figura N° 55

La obstrucción de las toberas puede ser provocada por partículas desprendidas de metal o de juntas y empaquetaduras, las cuales al ser arrastradas por el flujo de vapor pueden ser atrapadas en las toberas del soplador de hollín bloqueando el paso del vapor.

Para detectar este problema se puede conectar una manguera de vapor o de aire al soplador cuando este se encuentra desmontado de la caldera para verificar el flujo desde cada una de las toberas, las cuales se pueden limpiar haciendo pasar por su interior un trozo de alambre delgado de cobre.

Las fugas de vapor se refieren al escape de vapor debido a la falla de las empaquetaduras de prensa estopa del soplador de hollín. De las posibles fallas del sootblower (soplador de hollín), es la mas fácil de solucionar y para esto existen dos formas, si la fuga es pequeña se puede intentar solucionar apretando la prensa lo suficiente para no atascar el giro del tubo de soplado, si esto no es posible, se deberán soltar los pernos de la prensa estopa para insertar un nuevo anillo de empaquetadura, de preferencia empaquetadura gravitada.

Por ultimo otro problema que suele presentarse en los sopladores de hollín es el atascamiento del volante, el cual puede ser provocado por:

- Excesivo aprete de empaquetaduras lo cual se soluciona aflojando los pernos de la prensa.
- Atascamiento de los engranajes, lo cual tiene que ver con la limpieza de los mismos, cada vez que se recorran los sopladores de hollín, los engranajes deben ser limpiados y lubricados con grasa especial resistente a altas temperaturas la cual esta compuesta de 11 % a 15 % de jabón y 85% a 89 % de aceite SAE 20.
- El motivo mas común para el atascamiento del volante es la deformación del tubo de soplado, el cual, al estar sometido a las altas temperaturas de la caja de humos, suele pandearse dificultando el movimiento rotatorio. Frecuentemente es posible enderezar el tubo sin la necesidad de retirarlo de la caldera, haciéndolo girar hasta el punto donde se atasca y dejándolo ahí por varias horas. Si este método no endereza el tubo, se lo debera retirar de la caldera y enderezarlo calentándolo al rojo cereza (700 °C aprox.) y golpeándolo con un trozo de madera hasta enderezarlo.

CONCLUSIONES

Actualmente en la Marina Mercante existe una marcada tendencia a utilizar Calderas Auxiliares de diseño vertical, esto para optimizar la utilización del espacio en la sala de maquinas, y de preferencia del tipo acuotubular, ya que estas se caracterizan por tener una respuesta mas rápida a los cambios en el consumo de vapor y además poseen una mejor resistencia al trabajo a altas presiones que las del tipo pirotubular.

Las Inspecciones de Calderas Auxiliares permiten realizar estimaciones de la vida remanente de un elemento específico, al comparar su estado actual con las condiciones que tenía el mismo elemento al salir de fábrica o en una inspección anterior, esto permite tomar decisiones acertadas con respecto a la necesidad de reparar o cambiar alguna pieza del equipo en cuestión, sin embargo no se puede cuantificar el grado de deterioro y estimar forma acertada la vida remanente, a menos que el motivo de la falla del elemento sea previamente identificado.

El procedimiento de Inspección mas importante y aclaratorio de la verdadera condición en la que se encuentra una Caldera Auxiliar, es la Prueba Hidrostatica. Si bien la Autoridad Marítima, como las Casas Clasificadoras señalan que la ejecución de una Prueba Hidrostatica se llevara a cabo solo si el inspector lo estima necesario, los fabricantes de calderas señalan que deberá efectuarse una Prueba Hidrostática cada vez que se efectúen reparaciones o se reemplacen piezas de una caldera, lo que redundo en que cada vez que se inspeccione la caldera interiormente (lado de agua), se deberá efectuar esta prueba, ya que para inspeccionar interiormente la caldera, se deben remover las tapas de registro y cambiar sus juntas al instalarlas nuevamente.

Las Inspecciones, además de ser una buena herramienta de seguridad y optimización de materiales, traen consigo una serie de beneficios para el armador relativos a obtener rebajas significativas en el costo del seguro de los equipos de sala de maquinas y demostrar un adecuado mantenimiento técnico de los equipos frente al mercado de transacciones de buques.

Al realizar una Inspección a una Caldera Auxiliar, se puede observar que las fallas mas frecuentes encontradas en estos equipos y sus accesorios, son causados mayormente por errores u omisiones del personal a cargo, lo que deja entrever la importancia de un conocimiento cabal del funcionamiento de la caldera y de los fenómenos que ocurren dentro de ella.

Es importante tener en cuenta que el agua utilizada en el proceso de la generación de vapor en calderas marinas, es agua destilada, proveniente del tratamiento del agua de mar en la planta desalinizadora del buque. Esta posee características distintas al agua potable que suele utilizarse en calderas terrestres lo cual implica que los tratamientos que se apliquen al agua de las calderas auxiliares, deben ser compatibles con el agua utilizada en ellas.

Por ultimo, se puede concluir que a pesar de la gran cantidad de problemas que pueden suscitarse en una caldera, prácticamente todos ellos pueden ser minimizados o detectados a tiempo por un adecuado control de parámetros de funcionamiento de la caldera. En el caso de ocurrir una falla del equipo o de sus accesorios, será posible repararla a bordo gracias a un manejo responsable de los inventarios, manuales, controles horarios, y a los conocimientos, habilidades y experiencia del Ingeniero de Maquinas.

ANEXOS

ANEXO I

ANALISIS DE FOSFATOS PARA CALDERAS DE MEDIA Y BAJA PRESIÓN

EQUIPO NECESARIO:

- a) Block comparador de fosfatos de 20 a 80 ppm.
- b) Embudo de vidrio.
- c) Tubo de fosfatos con tapón de goma, de 5 a 17,5 ml.
- d) Papel filtro.
- e) Cuchara medida de bronce de 0,2 gramos.
- f) Botella plástica de 250 ml., para reactivo de molibdato.
- g) Reactivo de molibdato.
- h) Cloruro estañoso en polvo, seco.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Doblar una hoja de papel filtro y colocar en el embudo.
- 2) Alojarse el embudo dentro del tubo de fosfatos.
- 3) Colocar en el embudo la cantidad necesaria de la muestra a ser analizada para dejar el tubo de fosfatos hasta la marca inferior, aquella que representa 5 ml. De muestra filtrada.
- 4) Agregar reactivo de molibdato hasta llegar a la marca de 17,5 ml.
- 5) Cerrar el tubo con el tapón de goma y agitar bien.
- 6) Agregar una cucharada rasa de cloruro estañoso en polvo.
- 7) Cerrar nuevamente el tubo con el tapón de goma y agitar bien, dejándolo reposar de 3 a 5 minutos.
- 8) De no aparecer un color azulino, no hay exceso de fosfatos presente, representando este, el final del análisis.
- 9) Si la muestra adquiere un color azulino después de 3 a 5 minutos, cotejar el color de la muestra, con los colores estándar del block comparador de fosfatos, preferentemente contra la luz natural del día.
- 10) Leer el número escrito sobre la escala correspondiente al color que más se asemeje al de la muestra.
- 11) Si el color fuera más oscuro que cualquier color del block comparador, se debe proceder de la siguiente manera.
- 12) Mezclar una nueva muestra de agua filtrada con una parte igual de agua destilada.
- 13) La mezcla así obtenida se verterá al tubo de fosfatos, hasta alcanzar la marca de 5 ml.
- 14) A partir de este momento, se deberá proceder en la forma indicada en el punto 6, y multiplicar por 2 el resultado obtenido. El resultado se ve directamente en el comparador sobre la escala de ppm.

ANALISIS DE CLORUROS PARA CALDERAS DE MEDIA Y BAJA PRESIÓN

EQUIPO NECESARIO:

- a) Conjunto para bureta automática.
- b) Bureta de 10 ml.
- c) Bulbo presionador.
- d) Tapón de goma con 2 orificios.
- e) Botella de vidrio de 480 ml (reactivo para nitrato de plata).
- f) Botella de vidrio de 480 ml (reactivo para nitrato sulfúrico).
- g) Capsula de porcelana.
- h) Probeta graduada de 100 ml.
- i) Varilla agitadora de 150 mm.
- j) Botella de vidrio de 30 ml., con gotario (para cromato de potasio)
- k) Botella de vidrio de 30 ml., con gotario (para indicador de fenolftaleina).
- l) Indicador de fenolftaleina.
- m) Acido sulfúrico N/10.
- n) Cromato de potasio.
- o) Nitrato de plata N/10.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Mida 50 ml de agua enfriada (20 a 25° C) usando una probeta graduada.
- 2) Transfiera la muestra de la probeta a la capsula de porcelana.
- 3) Adicione 4 gotas de indicador de fenolftaleina a la muestra, si no se torna de color rosado, omita el paso numero 4 y proceda con el 5.
- 4) Si la muestra se torna de un color rosado, adicione acido sulfúrico N/10, gota a gota, hasta que el color rosado desaparezca.
- 5) Agregue 15 gotas de indicador de cromato de potasio a la muestra, la cual se tornara de color amarillo.
- 6) Agregar nitrato de plata N/10, gota a gota, desde la bureta a la muestra mientras se agita continuamente hasta que se produzca un cambio de color y perdure en la muestra. El punto final de la prueba de cloruro es un color rojo brillante o rojizo ladrillo.
- 7) Leer la cantidad gastada de nitrato de plata (ml.) y proceder al cálculo.

CALCULO DE RESULTADOS:

$$\text{Cloruros en ppm.} = \text{ml de nitrato de plata} \times 71$$

ANALISIS DE ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA PARA CALDERAS DE MEDIA Y BAJA PRESIÓN.

EQUIPO NECESARIO:

- a) Bureta automática, ensamblada.
- b) Bureta de 10 ml.
- c) Bulbo presionador.
- d) Tapón de goma con 2 orificios.
- e) Botella de vidrio de 480 ml. para ácido sulfúrico.
- f) Capsula de porcelana.
- g) Probeta graduada de 100 ml.
- h) Varilla agitadora de 150 mm.
- i) Botella de vidrio de 30 ml., con gotario (para indicador de fenolftaleina).
- j) Indicador de fenolftaleina.
- k) Ácido sulfúrico N/10

PROCEDIMIENTO:

- 1) Mida 50 ml de agua enfriada (20 a 25° C) usando una probeta graduada.
- 2) Transfiera la muestra de la probeta a la capsula de porcelana.
- 3) Adicione 4 gotas de indicador de fenolftaleina a la muestra, si no se torna de color rosado, este será el punto final del ensayo y la alcalinidad a la fenolftaleina será registrado como 0.0 ppm.
- 4) Si la muestra se torna de un color rosado, adicione ácido sulfúrico N/10, gota a gota, hasta que el color rosado desaparezca.
- 5) Leer la cantidad gastada de ácido sulfúrico (ml.) y proceder al cálculo.

CALCULO DE RESULTADOS:

$$\text{Alcalinidad P (ppm.)} = \text{ml de ácido sulfúrico N/10} \times 100$$

Donde Alcalinidad P = Alcalinidad a la fenolftaleina.

ANALISIS DE ALCALINIDAD TOTAL PARA CALDERAS DE MEDIA Y BAJA PRESIÓN.

EQUIPO NECESARIO:

- a) Bureta automática, ensamblada.
- b) Bureta de 10 ml.
- c) Bulbo presionador.
- d) Tapón de goma con 2 orificios.
- e) Botella de vidrio de 30 ml., con gotario, para indicador de alcalinidad total GP.
- f) Indicador de alcalinidad total GP.
- g) Acido sulfúrico N/10

PROCEDIMIENTO:

- 1) Usar la misma muestra de agua de la prueba anterior de alcalinidad a la fenolftaleina.
- 2) Adicione 3 gotas de indicador de alcalinidad total GP, con la cual la muestra se tornara de color verde.
- 3) Adicione acido sulfúrico N/10, gota a gota, hasta que se obtenga un color rosado alrededor de las gotas cuando estas se depositen dentro de la muestra. Tan pronto como esto ocurra, comience a agitar la muestra continuamente hasta que permanezca un color rosado en toda la muestra.
- 4) Leer la cantidad gastada de acido sulfúrico (ml.) y proceder al cálculo.

CALCULO DE RESULTADOS:

$$\text{Alcalinidad T (ppm.)} = \text{ml de acido sulfúrico N/10} \times 100$$

Donde Alcalinidad T = Alcalinidad total.

ANALISIS DE PH PARA CALDERAS DE MEDIA Y BAJA PRESIÓN.

EQUIPO NECESARIO:

- a) Tarjeta de colores indicador de PH.
- b) Papel para prueba de PH.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Introducir el papel para prueba de PH en la muestra de agua de caldera por unos segundos.
- 2) Comparar el color desarrollado en el papel con los colores de la tarjeta indicadora de PH.
- 3) Leer el numero escrito sobre el color que mas se asemeje en la tarjeta de colores y anotar el valor correspondiente.

ANEXO II

TABLA DE PRUEBAS Y TRATAMIENTOS COMUNES
DEL AGUA DE CALDERAS

| Impurezas | Efectos | Efectuar pruebas de... | Tratamiento |
|---|---|--|--|
| Compuestos de magnesio soluble de la sal marina de otras fuentes. | Dureza. Depósitos blandos (fango); reduce la transferencia de calor. Exceso de iones H (acidez) causan incrustaciones y corrosiones. | Dureza y alcalinidad. | NBC para dureza y acidez, con extracciones de fondo para sacar el fango. Remoción de depósitos mediante la limpieza de tubos. |
| Compuestos de calcio soluble del agua de mar u otras fuentes. | Dureza, incrustaciones adherentes; reducen la transferencia de calor seriamente, causan sobrecalentamiento y quemadura de tubos. | Dureza y cloruros. | NBC, con extracciones de fondo para remover el fango producido por la reacción del tratamiento. Si se forman incrustaciones, aplique limpieza mecánica y química. |
| Cloruros solubles del agua de mar u otras fuentes (por lo general cloruro de sodio). | Espuma (alta concentración). Depósitos en el sobrecalentador y turbina por el arrastre de agua, causa pérdida de eficiencia y daños materiales. | Cloruros. Prueba de conductividad química o eléctrica por celdas. Esta prueba es también indicativa de presencia de otras sales del agua de mar. | Extracción de fondo y reemplazo por agua relativamente pura. |
| Sólidos en suspensión, otros óxidos metálicos, mugre y fango formado por la acción del NBC. | Espuma. Fango calcinado; seria reducción de la transferencia de calor, causa sobrecalentamiento y quemaduras de tubos. | No se especifican pruebas. La prueba de cloruros y NBC requeridos son indicaciones indirectas de la concentración de sólidos del agua. | Extracciones de fondo periódicas. Limpiezas mecánicas regulares. |
| Aceite. | Espuma. Depósitos de aceite en las paredes de los tubos; reducción seria de la transferencia de calor, causa sobrecalentamiento y fundido de los tubos. Pelotas de fango. | Visible en los niveles y en las partes metálicas del lado de agua. | Prevención de la contaminación mediante las purgas. Hervido de las calderas afectadas. |
| Oxígeno disuelto. | Picaduras localizadas profundas. Corrosión generalizada. | Pruebas de oxígeno disuelto. | Operación adecuada del deaireador. Prevención de las filtraciones de aire dentro del sistema cerrado. Llenado de las calderas fuera de servicio con agua desaireada. |

ANEXO III

PROCEDIMIENTO DE TRATAMIENTO DE CALDERAS CON ALTO CONTENIDO DE CLORUROS.

Al encontrarnos con una caldera con alto contenido de cloruros, sacar la caldera de la línea y vaciarla volviéndola a llenar con alimentación suplementaria. Sin embargo si el contenido de cloruros no es excesivo, o si se requiere que la caldera este en línea; el contenido de cloruro puede ser disminuido tratando el agua como sigue:

- a) Extracción de fondo.
- b) Extracción de superficie.
- c) Extracción de fondo.
- d) Agregue agua de alimentación relativamente pura.
- e) Chequee el contenido de cloruros. Si es satisfactorio, entonces...
- f) Agregue NBC y chequee la dureza.
- g) Si la dureza no da cero, agregue NBC hasta lograrlo.
- h) Chequee la alcalinidad. Si es excesiva, baje la concentración haciendo extracciones de fondo hasta que quede dentro de los límites permitidos.

ANEXO IV

COMPARACION DE METODOS DE INSPECCION NO DESTRUCTIVA

| METODO | CARACTERISTICAS DETECTADAS | VENTAJAS | LIMITACIONES | EJEMPLOS DE USO |
|---------------|--|--|---|--|
| RADIOGRAFIA | Cambios de densidad de huecos, inclusiones, variaciones de material, colocación de partes internas. | Usada para inspeccionar amplio rango de materiales y espesores; versátil; película provee registros de inspección. | Radiaciones seguras requieren precisiones, costoso, detección de fisuras puede ser dificultoso. | Penetración en soldadura en tuberías, inclusiones, huecos. |
| ULTRASONIDO | Cambios de impedancia acústica causada por fisuras, inconexiones, inclusiones o interfaces. | Puede penetrar materiales gruesos; excelente para detección de fisuras, puede ser automatizado. | Normalmente requiere acoplamiento de materiales ya sea por contacto de superficie o inmersión en fluido como el agua. | Montaje adhesivo para juntas muy unidas. |
| VISUAL-OPTICO | Características superficiales como, terminaciones, ralladuras, fisuras o color; manchas en materiales transparentes. | Frecuentemente conveniente; puede ser automatizada. | Puede ser aplicado solo a superficies, en superficies abiertas, o en materiales transparentes. | Papel, madera, metales para terminaciones superficiales y uniformidad. |

COMPARACION DE METODOS DE INSPECCION NO DESTRUCTIVA

| METODO | CARACTERISTICAS DETECTADAS | VENTAJAS | LIMITACIONES | EJEMPLOS DE USO |
|---------------------------|---|---|---|---|
| CORRIENTES DE EDDY | Cambios en la conductividad eléctrica causada por variaciones de material, fisuras huecos o inclusiones. | Fácilmente automatizada; costo moderado. | Limitado a materiales conductores eléctricamente; limitada a penetraciones profundas. | Tubos de intercambiador de calor para paredes delgadas y fisuras. |
| LIQUIDOS PENETRANTES | Superficies abiertas debido a fisuras, porosidad, hendiduras o pliegues. | Bajo costo; fácil de usar; fácil de transportar; sensitivo para pequeñas grietas superficiales. | Grietas deben estar abiertas a la superficie; no se usa sobre superficies porosas. | Para superficies de alabes de turbina, fisuras o porosidad. |
| PARTICULAS MAGNETICAS. | Fuga de flujos magnéticos causadas por superficie o cerca de fisuras superficiales, huecos, inclusiones, cambios de materiales o geometría. | Bajo costo, sensible a grietas en y cerca de la superficie. | Limitado a materiales ferromagnéticos; preparación superficial y puede ser requerido una post-inspección de desmagnetización. | Ruedas de ferrocarril o rieles. |

GLOSARIO DE TERMINOS

Agua Destilada

Agua obtenida a través de los procesos de evaporación y condensación del agua de mar, llevados a cabo en equipos llamados Evaporadores, los cuales entregan un agua con aproximadamente un 99,4% de pureza de sales del agua de mar, optima para su utilización en plantas de generación de vapor

Bulk Carrier

Buques de transporte de carga seca a granel, como por ejemplo, minerales, cereales, astillas de madera, etc.

Domo Hemisférico

Techo de fogón, con forma de cúpula o media esfera.

Detector de Llama

Consiste en una celda fotoeléctrica ubicada en la puerta del fogón, la cual al percibir una señal luminosa (llama del quemador) envía una señal eléctrica al controlador del quemador. En caso de no detectar llama, la señal eléctrica al controlador será bloqueada lo que bloqueara el flujo de combustible hacia el quemador.

Estanqueidad

Propiedad de bloquear el paso de un fluido.

Fangos

Residuos lodosos que se acumulan en la parte baja de los colectores, están compuestos mayormente por elementos como, cloruro de sodio, cloruro de magnesio, sulfato de calcio, óxidos de hierro, etc.

Mica

Placa delgada de cristal resistente a altas temperaturas y presiones, se utiliza para proteger el vidrio del visor de nivel, del ataque erosivo del vapor a altas velocidades, producto del purgado del visor de nivel

Presostato

Dispositivo que transforma una señal de presión en una señal eléctrica del tipo ON / OFF.

Transmisor Diferencial de Presión

Dispositivo que recibe dos señales de presión, las compara y transforma la diferencia de presión entre ellas, en una tercera señal, proporcional a la diferencia entre las dos anteriores, esta señal suele ser enviada a un presostato.

Turbo Bombas

Bomba centrífuga accionada por una turbina de vapor

Turbo Generador

Generador eléctrico accionado por una turbina de vapor.

BIBLIOGRAFIA

1. Marine Steam Boilers, J.H. Milton. 1970.
2. Operación de Calderas, Instituto de Seguridad del Trabajo. 1984.
3. Operación y Mantenimiento de Calderas, Humberto Alfonso G. 1983.
4. Marine Engineering, Harrington Roy, SNAME 1992.
5. Manual de Manejo y Conservación de Maquinaria Naval, Escuela de Ingeniería Naval.
6. Instructions Book for Vertical Water Tube Boiler and Exhaust Gas Economizer, Sasebo Heavy Industries Co., LTD.
7. Principios de transferencia de calor, Frank Kreith & Mark S. Bohn, 2001
8. Boilers and Burners, Design and theory, Basu Kefa Jestin, Mechanical Engineering series, 2000
9. Instruction Book for Oil Burner Apparatus, Sunflame Co., LTD.
10. Guidelines for Preservation of Marine Boiler and Boiler Component, SNAME 3-30.
11. TESIS N° 426: Las Sociedades de Clasificación y sus Requisitos Para la Mantención de la Clasificación de un Buque en Servicio, Félix Ortega.
12. Reglamento Para la Construcción, Reparaciones y Conservación de Naves Mercantes y Especiales, D.G.T.M. Y M.M.
13. Rules and Regulations for the Classification of Ships, Lloyd's Register.
14. Rules for Building and Classing Steel Vessels, American Bureau of Shipping.
15. Reglamento de Clasificación e Inspección, Germanischer Lloyd.
16. Rules and Regulations for the Classification of Ships, Bureau Veritas.
17. www.martechinc.com
18. www.aalborg-industries.com
19. www.steamesteem.com
20. www.fammlc.com
21. www.wargaboilers.com
22. www.marineengineering.uk
23. www.yarwayvalves.com
24. www.spiraxsarco.com