



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE QUIMICA

**CALDERAS TIPO TUBOS DE HUMO**  
CRITERIOS BÁSICOS PARA SU DISEÑO, SELECCIÓN Y  
OPERACIÓN

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R A Q U I M I C A  
P R E S E N T A :  
SANTIAGO TORRES BEATRIZ



MEXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



## JURADO ASIGNADO:

---

|                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| Presidente:               | <i>Jorge Pérez Granados</i>    |
| Vocal:                    | <i>Mariano Pérez Camacho</i>   |
| Secretario:               | <i>Baldomero Pérez Gabriel</i> |
| 1 <sup>er</sup> Suplente: | <i>Luis Burgos Ferrero</i>     |
| 2 <sup>o</sup> Suplente:  | <i>Fulvio Mendoza Rosas</i>    |

---

### Tesis Desarrollada en :

*Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, D.F.*

### Asesor del tema:

**Ing. Baldomero Pérez Gabriel**



---

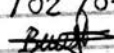
### Sustentante:

**Beatriz Santiago Torres**



---

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Beatriz Santiago  
Torres  
FECHA: 26/02/04 2  
FIRMA: 

**A mis padres por todo su amor y apoyo incondicional, por haber tenido fe y por haber creído en mí.**



## AGRADECIMIENTOS

A mi querida y grandiosa Universidad porque sin su existencia yo no habría logrado esta meta, la cual ahora estoy disfrutando.

A todos mis buenos y queridos maestros que a lo largo de mi vida dieron la guía para tomar el camino correcto.

Al Ing. Mauricio Márquez Lucero por sus grandes enseñanzas y al Ing. Baldomero Pérez Gabriel por su apoyo para la realización de esta tesis.

A mi familia por su amor y comprensión.

A cada uno de mis amigos por haberme brindado sus buenos o malos consejos, pero ante todo por haberme brindado su cariño: Janeth, Glenda, Juana, Adriana Edith, Georgina, Lorena, y a todos los demás que no he nombrado pero que en ciertos momentos supieron escucharme, gracias por su tiempo.

A mi compañero, amigo, y gran amor Benito por toda su atención, tiempo, amor, consejos y por todos los bellos momentos que hemos pasado juntos.

Y tampoco quiero olvidar a mis pequeñas mascotas, el inteligente "Simba" y el tierno "Osito" porque ambos me dejaron lindos recuerdos.

Gracias, gracias a todos y cada una de las personas e instituciones que hicieron de alguna forma posible el logro de esta meta.



CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPITULO I. Presentación</b>  | 8  |
| <b>CAPITULO II. Reglamentación</b>   | 10 |
| 1. Generalidades   | 10 |
| 2. Reglamento para la inspección de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión                                 | 10 |
| 3. Reglamento para la prevención y control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos    | 11 |
| 4. Norma oficial mexicana NOM-002-ENER-1995. eficiencia térmica de calderas paquete. Especificaciones y método de prueba | 13 |
| <b>CAPITULO III. Propiedades Termodinámicas del vapor de agua</b>  | 18 |
| 1. Generalidades   | 15 |
| 1.1 Definiciones   | 15 |
| 1.2 Proceso de vaporización  | 16 |
| 1.3 Características de los estados de vapor  | 17 |
| 2. Termodinámica en la Generación de vapor   | 18 |
| 2.1 Generación de vapor de agua  | 18 |
| 2.2 Tipos de vapores   | 19 |
| 2.3 Diagramas de entalpía-entropía total   | 20 |
| 2.4 Procesos con vapores   | 22 |
| 2.4.1 Procesos a volumen constante   | 23 |
| 2.4.2 Procesos adiabáticos   | 23 |
| 2.4.3 Procesos a presión constante   | 24 |
| 2.4.4 Procesos a temperatura constante   | 24 |
| <b>CAPITULO IV. Calderas: Definición y cálculos</b>  | 25 |
| 1. Definición  | 25 |
| 2. Tipos   | 25 |
| 2.1 Calderas Tipo tubos de agua  | 25 |
| 2.2 Calderas tipo tubo de humo   | 25 |
| 2.2.1 Tipos de calderas tubos de humo  | 25 |
| 2.2.2 Ventajas de las calderas tipo tubo de humo   | 27 |
| 3. Principales componentes   | 27 |
| 3.1 Cuerpo de la caldera   | 27 |
| 3.2 Hogar ó fogón  | 28 |
| 3.3 Fluxes   | 28 |
| 3.4 Instrumentación  | 30 |
| 4. Cálculo práctico simplificado para la capacidad de una caldera  | 30 |
| 4.1 Unidades de capacidad  | 30 |
| 4.2 Evaporación de una caldera   | 30 |
| 5. Cálculo de la eficiencia de una caldera   | 32 |
| 5.1 Definición   | 32 |
| 5.2 Tipos de eficiencia  | 32 |
| 5.3 Cálculo de la eficiencia   | 32 |
| 6. Cálculo del diámetro de instalación para alimentación de calderas con gases combustibles                              | 34 |
| 7. Criterios para la selección de calderas   | 34 |
| 8. Criterios para el diseño de calderas  | 37 |
| 8.1 Consideraciones para el diseño   | 37 |
| 8.1.1 Necesidades del servicio   | 37 |
| 8.1.2 Características de la carga  | 37 |
| 8.1.3 Características del combustible  | 38 |
| 8.1.4 Operación de la caldera  | 38 |
| 8.1.5 Inversión  | 38 |
| 8.2 Elementos a diseñar  | 38 |
| 8.3 Consideraciones teóricas   | 40 |



|   |           |
|---|-----------|
| 8.3.1 Transmisión de calor .....  | 40        |
| 8.3.2 Superficie de calefacción .....   | 40        |
| 8.3.3 Circulación de la caldera .....   | 41        |
| 8.3.4 Capacidad de la caldera .....   | 41        |
| 8.3.5 Espacio para vapor .....  | 41        |
| 8.3.6 Limitaciones de la eficacia .....   | 42        |
| <b>CAPITULO V. Tratamiento del agua de alimentación a calderas .....</b>        | <b>43</b> |
| 1. Generalidades .....  | 43        |
| 1.1 Su uso industrial .....   | 43        |
| 1.2 Impurezas usuales .....   | 43        |
| 1.3 Conceptos importantes .....   | 45        |
| 1.3.1 Sólidos Disueltos Totales .....   | 45        |
| 1.3.2 Alcalinidad .....   | 45        |
| 1.3.3 Control de Dureza Total .....   | 47        |
| 1.3.4 PH (Potencial de Hidrógeno) .....   | 47        |
| 1.4 Problemas en las calderas .....   | 50        |
| 1.4.1 Incrustación .....  | 50        |
| 1.4.2 Espumeo y Arrastre .....  | 52        |
| 1.4.3 Corrosión .....   | 52        |
| 1.4.4 Fragilización cáustica .....  | 53        |
| 2. Tratamientos externos .....  | 53        |
| 2.1 Clarificación .....   | 54        |
| 2.2 Filtración .....  | 55        |
| 2.3 Sedimentación .....   | 55        |
| 2.4 Suavización .....   | 55        |
| 2.5 Desaeración .....   | 58        |
| 2.6 Dealkalinización .....  | 58        |
| 2.7 Desmineralización .....   | 58        |
| 2.8 Proceso de cal sodada en frío .....   | 58        |
| 2.9 Proceso de cal sodada en caliente .....                                     | 60        |
| 2.10 Destilación .....  | 61        |
| 2.11 Osmosis inversa .....  | 62        |
| 3. Tratamientos externos .....  | 62        |
| 3.1 Tratamiento con fosfatos .....  | 62        |
| 3.2 Tratamiento con carbonatos .....  | 63        |
| 3.3 Tratamiento del oxígeno disuelto por medios químicos .....                  | 64        |
| 3.4 Inhibidores .....   | 65        |
| 3.5 Pu.gas .....  | 66        |
| <b>CAPITULO VI. La caldera y los principales sistemas que la integran .....</b> | <b>68</b> |
| 1. Sistemas de alimentación de agua .....                                       | 68        |
| 1.1 Reserva mínima .....  | 68        |
| 1.2 Equipo de bombeo y control del sistema .....                                | 69        |
| 1.2.1 Operación continua o intermitente .....                                   | 69        |
| 1.2.2 Temperatura del agua manejada inicial .....                               | 69        |
| 1.2.3 Capacidad .....   | 69        |
| 1.2.4 Presión de descarga .....   | 70        |
| 1.2.5 Carga neta de succión positiva .....                                      | 70        |
| 2. Sistema eléctrico .....  | 70        |
| 2.1 Conductores eléctricos .....  | 71        |
| 2.2 Instalación eléctrica de motores .....                                      | 73        |
| 2.3 Forma de conectar los motores .....   | 74        |
| 2.4 Arrancadores .....  | 74        |
| 2.5 Demanda y rendimiento de motores eléctricos .....                           | 75        |
| 2.6 Instalaciones industriales .....  | 76        |
| 3. Sistemas de alimentación de combustible .....                                | 76        |





|   |           |
|---|-----------|
| 3.1 Línea de combustible petróleo pesado .....  | 76        |
| 3.2 Línea de combustible ligero (Diesel) .....  | 78        |
| 3.3 Línea de alimentación de gas .....  | 79        |
| 4. Costos .....   | 80        |
| 4.1 Reducción de costos por consumo de combustible (Considerando eficiencia de calderas) .....                      | 80        |
| 4.2 Análisis económico del costo para el cambio de combustible diesel a Gas LP o gas natural para una caldera ..... | 81        |
| <b>CAPITULO VII. Maniobras Fundamentales Industriales en el trabajo con calderas .....</b>                          | <b>82</b> |
| 1. Montaje de calderas .....  | 82        |
| 1.1 Generalidades .....   | 82        |
| 1.2 Principales maniobras para la puesta sobre su base de la caldera .....  | 82        |
| 1.3 Selección del punto de instalación para el tiro de la chimenea .....  | 82        |
| 2. Arranque, operación y paro de calderas .....   | 83        |
| 3. Mantenimiento de calderas .....  | 84        |
| <b>CAPITULO VIII. Vapor de agua y su uso eficiente en la industria .....</b>  | <b>86</b> |
| 1. Líneas de vapor .....  | 86        |
| 2. Caídas de presión en las líneas de vapor .....   | 86        |
| 3. Drenado de tuberías principales de vapor y purgas .....  | 87        |
| 3.1 Determinación de cargas de condensados .....  | 87        |
| 4. Circuito hidráulico de las líneas de retorno de condensados .....  | 88        |
| 5. Trampas de vapor .....   | 88        |
| 5.1 Las piernas colectoras .....  | 89        |
| 5.2 Selección del tamaño de las trampas para vapor .....  | 89        |
| 6. Venas de vapor .....   | 90        |
| 6.1 Usos de las venas de vapor .....  | 90        |
| 6.2 Tres métodos para la instalación de venas de vapor .....  | 90        |
| 6.3 Distancia entre trampas de vapor en instalación con venas de vapor .....  | 91        |
| 7. Válvulas reguladoras de presión .....  | 91        |
| 8. Aislamientos térmicos .....  | 92        |
| <b>CAPITULO IX. Conclusiones .....</b>  | <b>94</b> |
| <b>Referencias .....</b>  | <b>95</b> |
| <b>Anexos .....</b>   | <b>97</b> |



## CAPÍTULO I. PRESENTACIÓN

El uso y beneficios del vapor de agua han sido aprovechados por el hombre desde la antigüedad.

Los griegos, por ejemplo, habían ideado un sistema mediante el cual, vapor a presión generado desde unas ánforas metálicas podían, mediante un ingenioso sistema, abrir las puertas de sus templos.

Sin embargo, el aprovechamiento industrial del vapor se origina en 1776, cuando fue ideada y construida la primera máquina a base de vapor, desarrollada por el inglés James Watt basándose en ideas originales de Dionisio Papin.

La aparición de estas primeras máquinas modernas marcaron el fin de la mano de obra artesanal y el comienzo de la era industrial.

Durante el siglo XIX el vapor se utilizó como fuente de energía motriz para locomotoras así como barcos de vapor. Posteriormente, en los inicios del siglo XX, el vapor se empezó a utilizar para generación de corriente eléctrica, el cual rivalizaba con la producción de energía por medio de hidroeléctricas.

En la actualidad, el vapor se emplea en diversos sectores industriales ya sea para accionar bombas, turbinas y/o instrumentos; como fuente de calentamiento en diversos procesos o para generación de alto vacío en los sistemas de conservación de alimentos, entre otros.

El vapor de agua es uno de los medios de transmisión de calor de mayor efectividad y su fácil generación y manejo lo han situado como uno de los servicios auxiliares más difundidos en la industria.

Como se menciona, el vapor es de gran importancia en la industria en general, y debido a la magnitud del tema así como para una mejor comprensión, el presente trabajo se enfoca al equipo capaz de generar dicho vapor, el cual conocemos como caldera.

Estas máquinas térmicas tienen la capacidad de generar el vapor a diferentes condiciones según las necesidades del proceso en cuestión.

Máquinas de vapor alternativas de variada construcción han sido usadas durante muchos años como agente motor, calderas para tracción, etc. pero básicamente, en la industria se encuentran dos tipos de caldera las cuales son: calderas tipo tubo de agua y caldera tipo tubos de humo. Las primeras se utilizan para generar vapor a muy altas presiones, básicamente para la generación de corriente eléctrica; las segundas producen vapor a bajas presiones y sirven principalmente como fuente de calentamiento, éstas últimas son objetivo de estudio en el presente trabajo.

El uso de las calderas para generación de vapor como fuente de calentamiento a corrientes de proceso adquiere una gran importancia dentro de la industria porque gracias a las calderas tubos de humo, se puede lograr un aprovechamiento de las corrientes calientes del proceso mismo logrando con esto ganancias y ahorros de energía.

Con la finalidad de presentar información relevante para el tema a continuación se presentan desde los aspectos teóricos para la generación del vapor, siguiendo con la descripción de la máquina generadora de vapor, operaciones básicas para el trabajo con calderas, hasta los servicios y accesorios que han de instalarse a la máquina para lograr una operación segura de la misma.



OBJETIVOS:

Dentro de los objetivos planteados para el presente trabajo, se mencionan a continuación los siguientes:

- Presentar una información completa referente a calderas tipo tubo de humo, tanto de bibliografía como de proveedores y proyectos reales de ingeniería.
- Plantear los puntos básicos a considerar para la selección de una caldera tipo tubo de humo
- Establecer los puntos clave para el diseño de una caldera
- Plantear un programa de mantenimiento para una mejor conservación de las calderas tubos de humo, de acuerdo a recomendaciones de proveedor
- Hacer un análisis económico del costo que representaría cambiar de un sistema diesel a gas

A continuación se menciona brevemente el contenido de cada uno de los capítulos, para hacer más fácil la revisión y estudio del presente trabajo.

En el capítulo dos se hace un resumen de la normatividad aplicable al trabajo con calderas, esto solo es para que quien lo lea se de una idea de ellas, para tener la información completa deberán referirse a la norma completa según se indica.

En el capítulo tres se quiere dar a conocer la manera en como se genera el vapor desde el punto de vista teórico.

En el capítulo cuatro es donde se da a conocer la máquina como tal se muestran las principales partes que la integran, se dan unos sencillos ejemplos para una estimación aproximada de su eficiencia, capacidad y el diámetro para el suministro de combustible. Se debe tener presente que para mayor detalle deben de considerarse una serie de factores importantes como son los que se mencionan en este mismo capítulo en el apartado referente a criterios para el diseño y selección de calderas.

El capítulo cinco menciona algunos de los tratamientos que se deben de dar al agua de suministro a la caldera.

El capítulo seis muestra de manera muy sencilla los servicios necesarios para el adecuado funcionamiento de la máquina, así como una estimación aproximada de costos para un cambio de combustible.

El capítulo siete se dan a conocer las principales operaciones a realizar para un correcto montaje, operación y mantenimiento de la caldera.

El capítulo ocho contiene la parte complementaria a una caldera, aquellos aspectos y accesorios a considerar para la correcta y operación segura de la caldera.

Cabe aclarar que la numeración de las tablas involucra el No. del capítulo y después una letra que indica el orden dentro de dicho capítulo. Las tablas y graficas se enumeran de manera independiente.

Además en la sección de referencias se mencionan una serie de artículos para refuerzo del presente tema de estudio.



## CAPÍTULO II. REGLAMENTACIÓN

### 1. GENERALIDADES

Una caldera es una máquina térmica estática a presión, en las cuales se provoca un cambio de la fase líquida a fase a vapor de algún fluido, generalmente agua, a partir del suministro de calor procedente de un combustible sometido a un proceso de combustión.

Las calderas están comprendidas dentro de un área general de estudio, que son los Equipos o recipientes a presión.

De acuerdo a los análisis de riesgos realizados ligados a la seguridad, informan que el principal riesgo que presentan las calderas son las explosiones. Por ello es importante tener presente, al trabajar o diseñar este tipo de máquinas, todas aquellas reglamentaciones y códigos tanto nacionales como internacionales involucrados al respecto para lograr un eficiente y seguro desempeño de estos equipos.

### 2. REGLAMENTO PARA LA INSPECCIÓN DE GENERADORES DE VAPOR Y RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

En la República Mexicana el reglamento principal, en lo que a equipos para generación de vapor sujetos a presión se refiere, es el **Reglamento para la Inspección de Generadores de vapor y Recipientes sujetos a Presión**. Establecido por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, por conducto de la Dirección General de Previsión Social.

De acuerdo a la importancia que dicho Reglamento tiene, se muestra a continuación, el contenido de dicho reglamento y se mencionan algunos de los puntos que de manera resumida ilustran los puntos establecidos en este Reglamento.

#### 2.1 Contenido General

|                |   |
|----------------|---|
| CAPITULO I.    | Aplicación                              |
| CAPITULO II.   | Definiciones                            |
| CAPITULO III.  | Clasificación General                   |
| CAPITULO IV.   | Solicitudes y Autorizaciones            |
| CAPITULO V.    | Inspectores e Inspecciones              |
| CAPITULO VI.   | Instalaciones                           |
| CAPITULO VII.  | Reparaciones                            |
| CAPITULO VIII. | Presión máxima de trabajo               |
| CAPITULO IX.   | Aparatos auxiliares y accesorios        |
| CAPITULO X.    | Jefes de Planta, Operadores y Fogoneros |
| CAPITULO XI.   | Obligaciones de los usuarios            |
| CAPITULO XII.  | Cuotas por derechos de inspección       |
| CAPITULO XIII. | Fórmulas                                |
| CAPITULO XIV.  | Sanciones                               |
| CAPITULO XV.   | Disposiciones Generales.                |

#### 2.2 Breve Resumen

Los tres primeros artículos del presente Reglamento describen casi en su totalidad su contenido, los cuales a la letra dicen:



Artículo 1°.

El presente Reglamento es de observancia general en toda la República Mexicana en las industrias de jurisdicción federal.

Artículo 2°.

Corresponde a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, por conducto de la Dirección General de Previsión Social, vigilar la instalación, la operación y el mantenimiento en condiciones de seguridad de los generadores de vapor y recipientes sujetos a presión, que se encuentren instalados y de los que en lo futuro se instalen en la República Mexicana; resolver las dudas y los problemas que se presenten en la interpretación de este Reglamento y mencionar sus infracciones. La construcción de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión, que se lleve a cabo dentro del territorio nacional, será vigilada exclusivamente y en la misma forma por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Así mismo, la Secretaría inspeccionará la reparación de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión, que se efectúe en fábricas o talleres, debiendo dar aviso en cada caso el propietario de unas y otros, por escrito y a la misma Secretaría, con el fin de que un inspector verifique si los trabajos fueron ejecutados de acuerdo con las disposiciones del presente Reglamento.

Todos los generadores de vapor y recipientes sujetos a presión, ya sean nuevos o reparados, deberán llevar un sello especial a golpe, que el inspector designado aplicará en todos los casos, levantando el acta respectiva y sin cuyo requisito ningún fabricante o reparador podrá venderlos.

Artículo 3°.

Los usuarios o sus representantes están obligados a hacer, en plazos razonables, todas las reparaciones ordenadas por la Secretaría del Trabajo directamente o por sus inspectores, y tomar todas las medidas de seguridad que sean necesarias, aun cuando no hayan sido señaladas, dando en aquellos y éstos casos, aviso previo y posterior por escrito a dicha autoridad.

En éstos tres artículos, como ya se mencionó se resume casi el total de las actividades que dicho Reglamento establece, pero además faltan por mencionar los que a Requisitos para ser Jefe de planta, operadores y fogoneros encargados de generadores de vapor se refiere, mencionado en los artículos 77° a 88° y los artículos 109° a 130° que hacen mención de las sanciones a las cuales se hacen acreedores aquellos usuarios que no cumplan con todas las disposiciones que les señala el presente Reglamento.

Para más referencia, consultar este Reglamento en la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

### **3. REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ORIGINADA POR LA EMISIÓN DE HUMOS Y POLVOS.**

Otro Reglamento importante de considerar es: El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación atmosférica, originada por la emisión de humos y polvos.

Establecido esta por la Secretaría de Salubridad y Asistencia en coordinación con la Secretaría de Industria y Comercio. Siendo su contenido el siguiente:

- CAPITULO I. Disposiciones centrales
- CAPITULO II. Emisión de Humos y Polvos
- CAPITULO III. Medidas de Orientación y Educación
- CAPITULO IV. Vigilancia e Inspección
- CAPITULO V. Sanciones



- CAPITULO VI. Procedimientos para aplicar las sanciones
- CAPITULO VII. Recurso administrativo de inconformidad
- CAPITULO VIII. Acción popular
- CAPITULO IX. Definiciones. Transitorios

Debido a su importancia se mencionan a continuación los Artículos y puntos más sobresalientes:

#### Disposiciones Generales

Artículo 1° Este Reglamento rige en toda la República y tiene por objeto proveer, en la esfera administrativa, a la observancia de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, en cuanto a la emisión de humos y polvos en el aire.

Artículo 2° El consejo de Salubridad General podrá dictar las disposiciones generales para prevenir y combatir la contaminación ambiental, a que se refiere este Reglamento. La aplicación de este Reglamento compete en forma directa al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de la Salubridad y Asistencia y en coordinación ésta, con la Secretaría de Industria y Comercio, en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica causada por actividades industriales, comerciales o de transportación. Las demás autoridades que dependan del Ejecutivo Federal, de los ejecutivos de los Estados, de los territorios y de los ayuntamientos, auxiliarán a las anteriormente mencionadas en la aplicación de este Reglamento, sin perjuicio de las atribuciones que les son propias.

Artículo 3° En lo no previsto por este Reglamento, la Secretaría de Salubridad y Asistencia dictará las disposiciones técnicas y las medidas de observancia general y obligatoria a que deberán sujetarse las personas físicas o morales de carácter público o privado, que instalan, utilicen u operen fuentes emisoras de contaminantes.

En su Artículo 6°, el reglamento establece que se dará atención especial al control de las fuentes contaminantes como las siguientes:

- I. Incineración de basura
- II. Refinerías;
- III. Termoeléctricas;
- IV. Ferrocarriles;
- V. Vehículos automotores;
- VI. Plantas Industrializadoras de guanos y productos de fertilizantes; y
- VII. Plantas de concreto asfáltico.

Además establece los lineamientos a los cuales deben someterse las industrias nuevas cuyas actividades puedan producir contaminación atmosférica por emisión de humos y polvos o para ampliar las existentes, en sus artículos 4° a 8°. En el artículo 21°, se muestran unas tablas empleadas para la evaluación de las emisiones de polvo.

Este Reglamento también establece los límites permisibles de emisión a la atmósfera de polvos según la capacidad calorífica del proceso.

En sus artículos 44° a 57° establece lo referente a la vigilancia e inspección de las disposiciones de la Ley y del presente Reglamento, mediante un cuerpo de inspectores.

Los artículos 59° a 64° establecen las sanciones a las cuales se hagan acreedores las fábricas o establecimientos que produzcan o emitan contaminantes.

Para más referencia, consultar este Reglamento en la Secretaría de Salubridad y Asistencia.



**4. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ENER-1995.  
EFICIENCIA T ERMICA D E C ALDERAS PAQUETE. E SPECIFICACIONES Y M ETODO D E  
PRUEBA**

Además de los reglamentos discutidos anteriormente, también resulta importante tener presente esta norma Mexicana para determinar la eficiencia térmica de calderas.

**CONTENIDO**

CAPÍTULO I. Objetivo  
CAPITULO II. Campo de aplicación  
CAPITULO III. Referencias  
CAPITULO IV. Definiciones  
CAPITULO V. Símbolos y abreviaturas  
CAPITULO VI. Clasificación y designación del producto  
CAPITULO VII. Especificaciones  
CAPITULO VIII. Muestreo  
CAPITULO IX. Método de prueba  
CAPITULO X. Marcado  
CAPITULO XI. Vigilancia  
CAPITULO XII. Sanciones  
CAPITULO XIII. Bibliografía  
CAPITULO XIV. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana establece los niveles mínimos de eficiencia térmica que deberán cumplir las calderas paquete nuevas de tubos de humo y de tubos de agua sin equipo de recuperación de calor. También especifica el método de prueba que debe aplicarse para determinar la eficiencia térmica de estas calderas y verificar dicho cumplimiento. Esta Norma cubre a las calderas paquete nuevas de tubos de humo y tubos de agua sin equipo de recuperación de calor, comercializadas en la República Mexicana por los proveedores, que utilizan combustibles líquidos y/o gaseosos derivados del petróleo con las siguientes características:

|             |                   |
|-------------|-------------------|
| Capacidad   | De 100 a 8 000 kW |
| Presión     | Hasta 1 MPa       |
| Temperatura | Saturación        |

La sección 7 referente a especificaciones, entre otras cosas, trata la Eficiencia térmica mínima (con base en el poder calorífico superior y a la presión normal de operación) que deben alcanzar las calderas como se indica en la siguiente tabla.

|                        | Capacidad kW | □ % | Combustible                   |
|------------------------|--------------|-----|-------------------------------|
| Calderas tubos de humo | 100-200      | 76  | Gas natural o L.P.            |
|                        | 100-200      | 80  | Combustóleo, gasóleo, diesel. |
|                        | 200-8 000    | 76  | Gas natural o L.P.            |
|                        | 200-8 000    | 80  | Combustóleo, gasóleo, diesel. |
| Calderas tubos de agua | 100-200      | 74  | Gas natural o L.P.            |
|                        | 100-200      | 78  | Combustóleo, gasóleo, diesel. |
|                        | 200-8 000    | 76  | Gas natural o L.P.            |
|                        | 200-8 000    | 80  | Combustóleo, gasóleo, diesel. |



Además establece la Temperatura de la cubierta externa de la caldera en cualquier punto, la concentración de oxígeno en los gases de combustión a la salida de la caldera y la concentración de monóxido de carbono en los gases de combustión

Para vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana estarán a cargo, la Secretaría de Energía, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social y la Procuraduría Federal del Consumidor en sus ámbitos de competencia.

Esta Norma establece que el incumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana se sancionará conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás disposiciones legales aplicables.

Para más referencia, consulte la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ENER-1995**.





## CAPITULO III. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL VAPOR DE AGUA

### 1. GENERALIDADES

En la Industria Química se emplean mucho los equipos que utilizan fluidos para intercambiar calor. En algunos equipos, para transferir calor se lleva a cabo la condensación o la ebullición de una sustancia, es decir, se produce el cambio de estado físico de uno de los dos fluidos que intercambian calor.

Tal es el caso que se estudia en este trabajo, donde el fluido en cuestión es el agua. El agua es un excelente fluido desde el punto de vista de que es abundante, no tóxico, barato y además transporta importantes cantidades de energía, si hay cambio de fase de líquido a vapor. El vapor de agua es el medio más empleado en la planta química para transferir calor.

En estos procesos de cambios de fase existen cambios y transformaciones de energía, los cuales son estudiados por la Termodinámica. A continuación se definen brevemente algunos de los términos involucrados:

#### 1.1 Definiciones

**Energía:** La energía es inherente a la materia. Por energía indicamos algo que aparece en muchas formas, las cuales se relacionan entre sí, por el hecho de que se puede hacer la conversión de una forma de energía a otra. El término general de energía no es definible, pero si se puede definir con precisión las diversas formas en que aparece.

**Calor:** El calor es energía en transición (en movimiento) de un cuerpo o sistema a otro, solamente debida a una diferencia de temperatura entre los cuerpos o sistemas. Es una forma de energía que causa un cambio físico en la sustancia que es calentada.

**Calor latente:** Es la cantidad de calor requerida para lograr el cambio de estado físico de una sustancia sin que existan variaciones en su temperatura.

**Calor sensible:** Es el calor que produce una elevación de temperatura en un cuerpo.

**Vapor:** Es la fase intermedia entre la líquida y la de gas.

Explicado desde el punto de vista termodinámico, los gases son llamados vapores cuando su estado se encuentra cerca de su punto de licuefacción.

En el proceso de licuefacción, el líquido se separa del vapor a lo largo de una superficie frontera claramente definible. Al cruzar una partícula dicha superficie frontera, ciertas propiedades físicas como la densidad, energía interna, calor específico, etc., cambian bruscamente, no obstante que la presión y temperatura permanecen constantes. Las regiones pertenecientes a una misma sustancia que difieren en sus propiedades físicas se conocen como fases. Una fase no necesita consistir de una sustancia químicamente homogénea sino puede ser una mezcla de varias sustancias, tal como una mezcla de gases. Los gases pueden estar en cualquier proporción, y consecuentemente un sistema compuesto por diferentes sustancias químicamente diferentes pueden tener una sola fase gaseosa. Por otro lado, pueden tener varias fases líquidas y sólidas siendo su número igual al de los componentes que no se mezclan.

Los vapores tienen características semejantes a los gases, puesto que llenan por completo las paredes del recipiente que los contiene, pero no siguen la ley de los gases perfectos.

Las propiedades o características de los vapores se encuentran consignadas en las tablas y gráficas de vapores.



**Ebullición:** Es la vaporización de un líquido que tiene lugar en el seno mismo del líquido

**Condensación:** Es el cambio de vapor (fase gaseosa) a líquido con una transferencia de calor del vapor a la superficie de condensación.

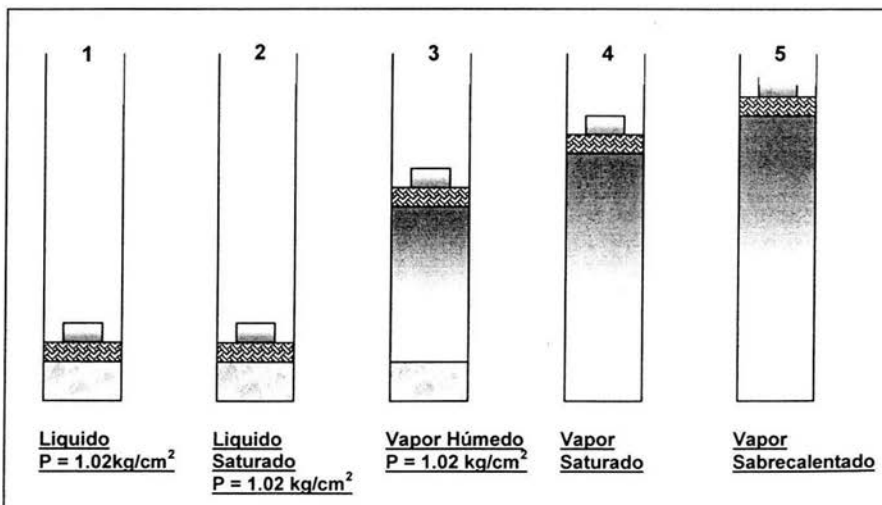
### 1.2 Proceso de vaporización

Considérese 1 Kg de agua a 0°C contenido en un cilindro a la presión de 1.02 kg/cm<sup>2</sup> (Ver figura III.A). En tales condiciones, el agua se encuentra en fase líquida y tiene un determinado volumen específico estado 1. Si se calienta el agua, su temperatura aumenta y su volumen específico se hace mayor. Al llegar al estado 2, a la temperatura de 99,6 °C, se empieza a formar vapor. Entonces, la temperatura  $T_2 = 99,6$  °C constituye el conocido punto de ebullición del agua a la presión de 1.02 kg/cm<sup>2</sup>. Si se sigue calentando se va formando mas vapor. El volumen específico va aumentando, pero la temperatura permanece constante durante toda la vaporización. Por último, se vaporiza la ultima gota de líquido al llegar al estado 4, de vapor saturado. En el estado 3 y en todos los restantes intermedios entre 2 y 4, el vapor húmedo está formado por una mezcla de dos fases. Si se calienta el vapor saturado más allá del estado 4, el volumen seguirá aumentando, así como también la temperatura. Se tiene entonces, lo que se conoce como vapor recalentado, punto 5.

El proceso de vaporización descrito se podría repetir a distintas presiones. Midiendo temperaturas y volúmenes específicos se determinan los estados de la curva de líquido saturado y vapor saturado. Las dos curvas se encuentran en el punto crítico, K. A mayores presiones que la del punto crítico es imposible observar una vaporización entre ambas fases. Se pasa de la fase líquida a la gaseosa de un modo continuo. Por encima del punto crítico ya no hay ningún límite determinado entre las dos fases. El punto crítico para el agua es: 374.15 °C; 225.66 kg/cm<sup>2</sup>.

Durante la vaporización a presión constante, la temperatura permanece constante, a cada presión le corresponde una determinada temperatura de saturación, y viceversa. Esta presión recibe el nombre de presión o tensión de vapor líquido.

Fig. III.A. Proceso de vaporización



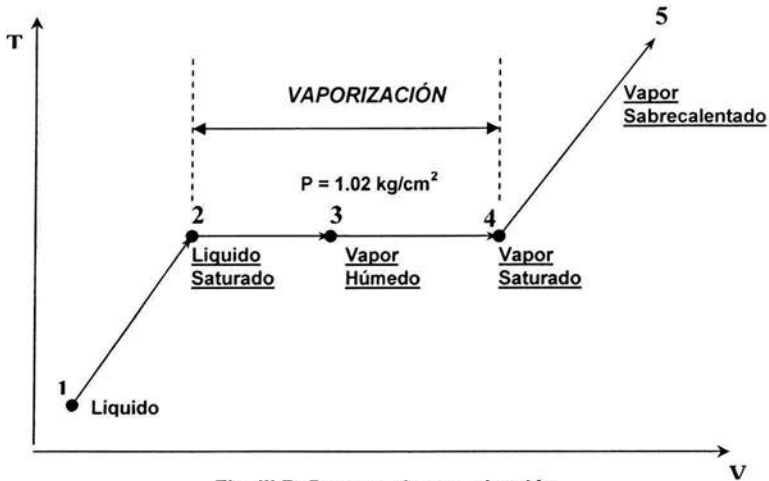


Fig. III.B. Proceso de vaporización

### 1.3 Características de los estados de vapor

**Presión:** Es la fuerza ejercida por el fluido en la unidad de superficie de la pared del recipiente que lo contiene o del seno mismo del fluido. Se mide por medio de un manómetro y se expresa en (Kg/cm<sup>2</sup>, Lbs/pulg<sup>2</sup>, bars).

Los manómetros miden la presión relativa, es decir, la presión arriba de la presión atmosférica. La presión atmosférica es la que se manifiesta de por vida en todos nosotros y ésta, por medirse con un barómetro, también se llama presión barométrica. Es menor a medida que la altitud del vapor es mayor y es mayor a medida que nos aproximamos a nivel del mar.

El agua, al nivel del mar, hierve (se satura) a 100°C (212°F) en donde la presión barométrica es de 1.033 Kg/cm<sup>2</sup> (14.7 Lb/pulg<sup>2</sup>). Si el agua que se evapora la confinamos en un recipiente y seguimos agregando calor, la presión aumenta y el punto de saturación también aumenta. Esta presión la puede registrar un manómetro, pero el manómetro marca cero cuando la presión es atmosférica, es decir, solo marca presiones manométricas o relativas. Esta medida de presión es satisfactoria para recipientes a presión como las calderas. Sin embargo, para cálculos termodinámicos es indispensable utilizar el concepto "presión absoluta".

**Presión absoluta (Pa):** Es la suma de la presión atmosférica y de la relativa (presión barométrica, más presión manométrica). Las tablas y gráficas de vapores de refieren a la presión absoluta.

Ejemplo: Al nivel del mar puede estar operando una caldera a 10 Kg/cm<sup>2</sup> de presión, marcada por el manómetro. La presión absoluta será:

$$\begin{aligned} Pa &= 10 + 1.033 = 11.033 \text{ Kg/cm}^2 \\ \text{Si } 1 \text{ Kg/cm}^2 &= 14.2 \text{ lbs/pulg}^2 \\ Pa &= 142 + 14.7 = 156.7 \text{ lbs/pulg}^2 \end{aligned}$$

En la ciudad de México la presión barométrica es de 0.79 Kg/cm<sup>2</sup> = 11.2 lbs/pulg<sup>2</sup>, si la misma caldera produce vapor de 10 Kg/cm<sup>2</sup> (142 Lbs/pulg<sup>2</sup>). La presión absoluta será:



$$\begin{aligned} Pa &= 10 + 0.79 = 10.79 \text{ Kg/cm}^2 \\ Pa &= 142 + 11.2 = 153.2 \text{ Lbs/pulg}^2 \end{aligned}$$

De lo anterior se desprende que el comportamiento termodinámico de los vapores en algunas de sus variables depende de la presión absoluta y no de la relativa.

**Presión del vacío:** Si la presión absoluta es menor que la atmosférica, a la lectura manométrica se le llama presión del vacío o vacío.

**Temperatura:** La temperatura de un cuerpo, es su estado térmico considerado con referencia a su poder de comunicar calor a otros cuerpos.

## 2. TERMODINÁMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR

Aunada con la producción de vapor, se encuentran íntimamente ligados una serie de principios y cambios fundamentales, los cuales se describen como sigue.

### 2.1 Generación de vapor de agua

Cuando al agua se le comunica energía calorífica varía su entalpía y su estado físico. Donde, la **entalpía** es el calor transferido a presión constante.

A medida que tiene lugar el calentamiento, la temperatura del fluido aumenta y por lo regular su densidad disminuye. La rapidez de la vaporización depende de la velocidad con la cual se transmite calor al agua y de su movimiento en el recipiente en donde esta confinado.

La temperatura a la cual se produce la ebullición depende de la pureza del agua y de la presión absoluta ejercida sobre ella. Para el agua pura la temperatura de ebullición tiene un valor determinado para cada presión y es menor a bajas que a altas presiones.

Ejemplos numéricos de presiones absolutas y las correspondientes temperaturas de ebullición del agua pura son: 0.0344 kg/cm<sup>2</sup>, 26.12 °C; 1.033 kg/cm<sup>2</sup>, 100 °C; 42 kg/cm<sup>2</sup>, 252.3 °C.

Al calentar agua en un recipiente cerrado, se puede ver que la temperatura y la presión se elevan mientras calentamos, pudiendo llevarse al límite impuesto por la resistencia de las paredes de la vasija.

Dentro de una caldera de vapor, el agua y el vapor se encuentran en situación de equilibrio inestable, de la cual no pueden salir bruscamente, puesto que si descendiera de pronto la presión interior hasta la atmosférica, se expansionaría toda la masa, pasando el agua a vapor instantáneamente, produciendo una explosión.

A continuación se muestra un diagrama de Temperatura-Entalpía mostrando el calentamiento y la fase de transformación del agua en una caldera.

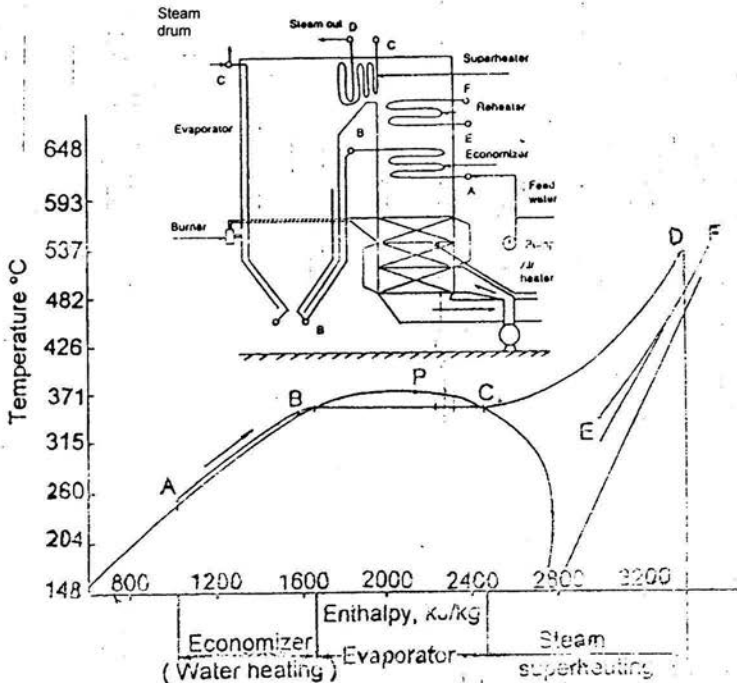


Fig. III.C. Transformación del agua en una caldera

## 2.2 Tipos de vapores

Los **vapores saturados** son aquellos utilizados para transferir calor, es decir, vapor que tiene una temperatura igual a la de ebullición (correspondiente a la presión a que está el vapor) y constan únicamente de la fase de vapor. Un vapor saturado queda definido por su presión ó su temperatura.

El vapor saturado puede estar exento completamente de partículas de agua sin vaporizar o puede llevarlas en suspensión. Por esta razón el vapor saturado puede ser seco o húmedo.

Todos los cuerpos cuya temperatura es superior a  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  poseen energía. Para el agua y su vapor resulta más práctico tomar como base de temperatura  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  que el cero absoluto. Como consecuencia es costumbre considerar las entalpías del líquido, de vaporización y del vapor, así como también todas las variaciones de entropía por kilogramo, sobre  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Un **vapor húmedo** tiene al mismo tiempo la fase líquida y la fase de vapor. Su temperatura es igual a la de ebullición. Para definirlo se hace necesario dar su presión o su temperatura y su calidad. La calidad de un vapor húmedo es la relación del peso del fluido que esta en la fase de vapor y el peso total del fluido.

### Calidad del vapor.

Cuando el vapor circula por tuberías puede experimentar una pérdida de calor formando en el vapor partículas de agua, y si no se ha dispuesto algún dispositivo secador, el vapor arrastra cierta cantidad de agua líquida (humedad).



La humedad existente en el vapor de agua saturado puede deberse a varias causas: deficiente construcción de la caldera, ebullición demasiado intensa o alimentación de agua de mala calidad a la caldera. En general, el vapor sale tanto más húmedo cuanto más fuertemente calentada esté la caldera y menor sea la superficie de agua por la que las burbujas puedan desprenderse. El vapor húmedo posee menos calor y energía que el vapor saturado seco y es perjudicial para las máquinas.

La cantidad de vapor seco por kilogramo de vapor húmedo es la calidad del vapor y puede variar de 0.99 a 0.9 (1% a 10% de humedad) según el tipo de caldera y las condiciones de carga de la misma.

Ejemplo: Si de una caldera sale vapor con un 2% de humedad, la calidad del vapor sería de 98%. Cuando la calidad ( $x$ ) es igual a 1, lo cual ocurre rara vez en la práctica, el vapor se llama saturado y seco. En los cálculos de las cantidades de calor contenidas en el vapor, etc., así como en las tablas de propiedades del vapor saturado se le supone siempre seco, mientras que en la práctica hay que contar con un grado de humedad variable del 1.5 al 5%.

Los **vapores recalentados** tienen una temperatura superior a la temperatura de ebullición y en ellos está presente solamente la fase de vapor. Para definir un vapor sobrecalentado hay que indicar su presión y su temperatura o bien su sobrecalentamiento. El sobrecalentamiento de un vapor es la diferencia entre su temperatura y la temperatura de ebullición correspondiente a su presión.

Se obtiene vapor recalentado al separar el vapor saturado del agua, y continuar suministrando calor, (recalentar es la operación de proporcionar calor al vapor saturado seco sin aumentar su presión), el cual, a igualdad de volumen tiene más presión que el saturado, y, a presión igual, mayor volumen. El recalentamiento del vapor se obtiene en la práctica haciendo pasar el vapor saturado por largas tuberías rodeadas de gases calientes.

El calor específico medio del vapor recalentado varía con la presión y temperatura entre 0.44, para pequeños grados de recalentamiento a presiones inferiores a la atmosférica, hasta más de 2 para elevadas temperaturas y presiones.

Las ventajas del vapor recalentado son: (1) el calor adicional comunicado al vapor hace que este se comporte con más aproximación como gas perfecto que como vapor saturado; (2) los límites de temperatura en ciertas partes de los equipos que utilizan vapor pueden aumentarse; (3) se pueden eliminar o disminuir las pérdidas producidas por la condensación del vapor en las tuberías y en las máquinas y turbinas de vapor. Además, el vapor recalentado posee un mayor volumen y, por lo tanto, una mayor energía latente y, sobre todo, que no se condensa en las tuberías, siendo además de notar que el exceso de calor empleado en su producción es despreciable al lado de las indicadas ventajas.

Los procesos termodinámicos con vapores son ampliamente estudiados con la ayuda de los diagramas y tablas, en particular, los problemas que involucran vapor recalentado pueden ser convenientemente resueltos con la ayuda de los diagramas entalpía-entropía ( $h-s$ ), como se explica a continuación.

### 2.3 Diagramas de entalpía-entropía totales.

Las propiedades termodinámicas de una sustancia con frecuencia se muestran en un diagrama de entalpía-entropía, que también se llama de Mollier en honor a Richard Mollier (1863-1935) de Alemania.

El diagrama de Mollier, es sumamente útil en el análisis de plantas de generación de vapor. Estos diagramas son valiosos porque presentan datos termodinámicos, porque permiten describir el



comportamiento de un flujo y porque permiten representar los procesos que ocurren a presión constante o los cambios de estado que se producen en algunos procesos.

Por ejemplo, dado que el proceso ideal seguido por una turbina de vapor es adiabático reversible, el uso del diagrama de Mollier es conveniente para determinar no solo la potencia máxima que puede desarrollar la unidad, sino también la eficiencia con la cual se logra ese objetivo.

El diagrama de Mollier también es útil en el proceso de estrangulamiento empleado para determinar la calidad de un vapor húmedo en una tubería. En la siguiente figura se muestran los elementos esenciales de estos diagramas, para el vapor.

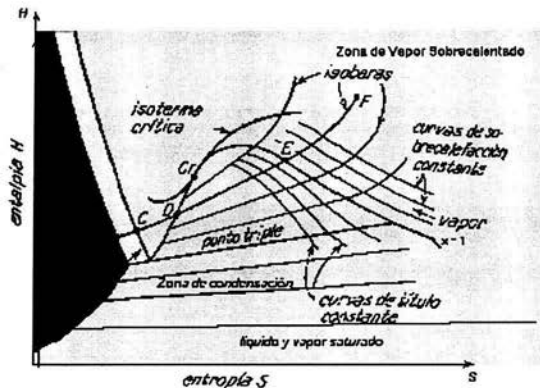


Fig. III.D. Diagrama de Mollier

Ejemplo:

Se tiene un vapor con una entalpía de 1015 BTU/lb a 120 psia. A partir del Diagrama de Mollier determine el porcentaje de humedad y la calidad de la mezcla de vapor húmedo.

Solución.

1. En el Diagrama de Mollier, en el lado izquierdo se lee la entalpía:

$$H = 1015 \text{ Btu/lb,}$$

2. Después se intersecta con la línea de Presión = 120 psia, el cruce cae sobre la línea de porcentaje de humedad que indica:

$$\% \text{ Humedad} = 20$$

3. Por tanto, la calidad del vapor =  $(1-0.2) = 0.8 \cdot 100$

$$\text{Calidad del vapor} = \underline{80\%}$$

A continuación se muestra el diagrama de Mollier ilustrando este ejemplo.

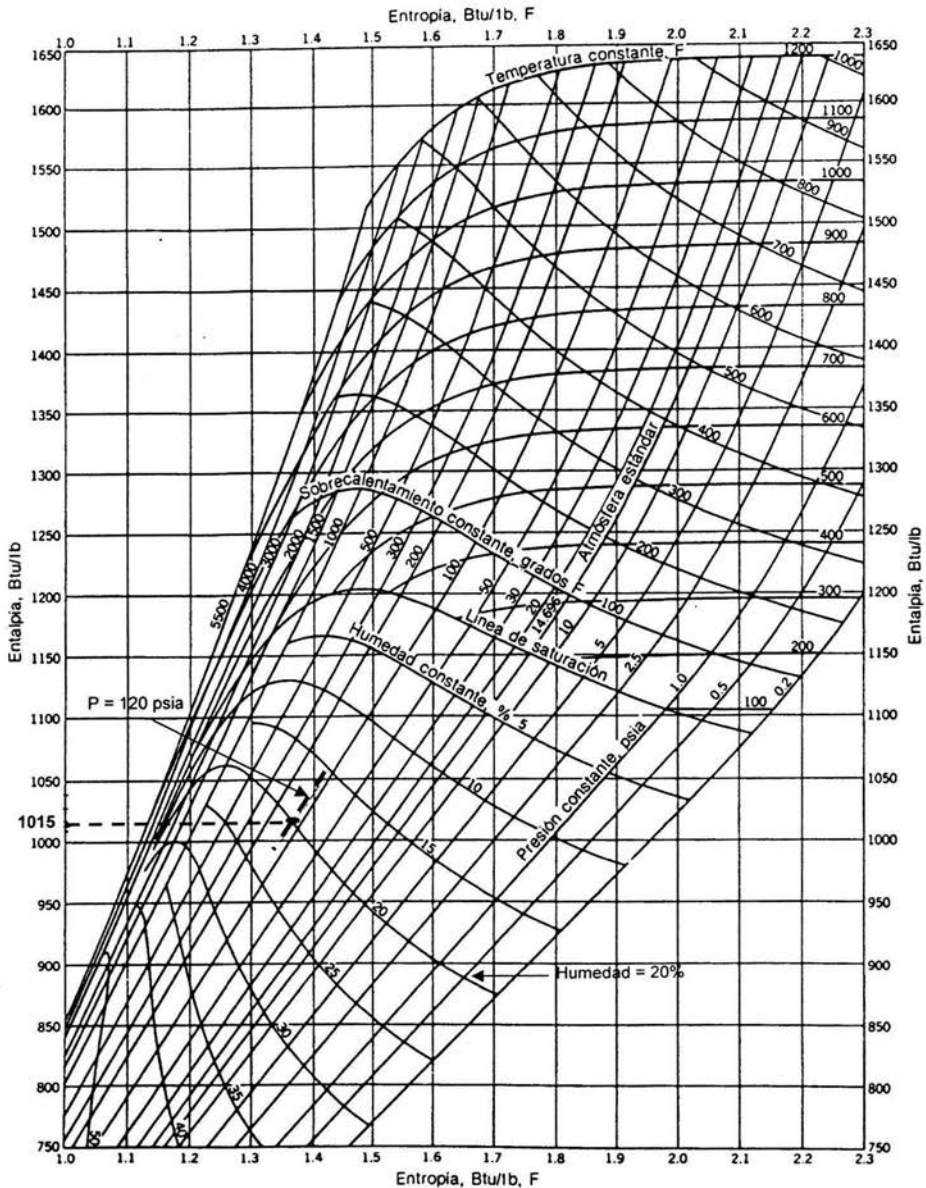


Figura 4.10 Esquema de un diagrama h-s (de Mollier) para el vapor de agua (Cortesía de Babcock y Wilcox Corp.)

### 2.4 Procesos con vapores

Los diagramas de Mollier son de gran utilidad en los procesos reales para describir la trayectoria del fluido o para establecer los estados finales, una vez que se ha especificado el proceso.

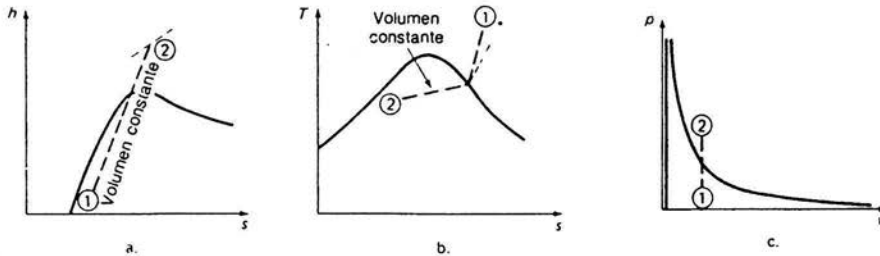




A continuación se mencionan algunos de los procesos que se pueden ilustrar en un diagrama de Mollier y que representan el comportamiento de ciertos procesos industriales.

### 2.4.1 Procesos a volumen constante (Isométricos)

El proceso a volumen constante es un proceso sin flujo que puede considerarse que ocurre cuando se calienta un fluido en un recipiente cerrado. En la siguiente figura se muestra este proceso en el que se calienta vapor húmedo (1) a volumen constante en un tanque cerrado pasa al estado de sobrecalentamiento en (2).



La ecuación de energía para este proceso es:

$$dq = du + pdv$$

pero como  $dv = 0$ ,

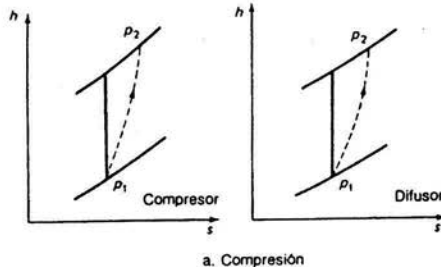
$$Q_{1-2} = u_2 - u_1$$

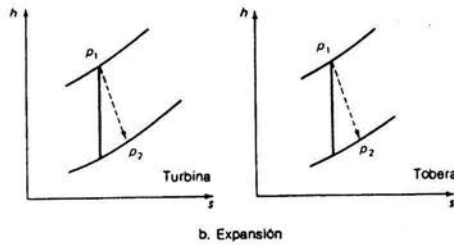
Expresión válida para sistemas sin flujo, un sistema con flujo, no tiene significado para este proceso.

Los valores de  $u_2$ , y  $u_1$  pueden encontrarse directamente en las tablas de propiedades (o bien,  $u = h - pv$ ), o por medio de los diagramas correspondientes.

### 2.4.2 Proceso Adiabático

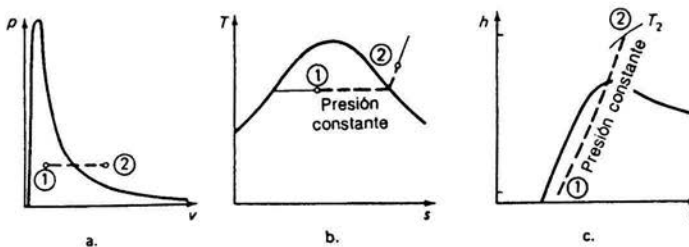
El proceso adiabático es uno de los procesos más importantes que se han considerado, ya que la mayor parte de las compresiones y expansiones pueden idealizarse como procesos adiabáticos. En las siguientes figuras se muestra el diagrama h-s para dos tipos distintos de expansiones y dos distintos de compresiones. Las líneas continuas de la figura representan trayectorias isoentrópicas (adiabático reversible), en tanto que las líneas punteadas se usan para representar procesos irreversibles. Todos los procesos mostrados en la figura son procesos de flujo estacionario.





### 2.4.3 Proceso a presión constante (Isobárico)

El proceso a presión constante es una idealización que puede usarse para describir el suministro de calor al fluido de trabajo, por ejemplo en una caldera o en el proceso de combustión en una turbina de gas. En la siguiente figura se muestran los diagramas  $p$ - $v$  y  $h$ - $s$  para un vapor que experimente un proceso irreversible a presión constante. Las trayectorias se muestran como líneas punteadas para indicar que el proceso es irreversible.



### 2.4.4 Proceso a Temperatura constante (Isotérmico)

En el escape de una turbina de vapor, el vapor por lo regular se encuentra húmedo. Este vapor se condensa a continuación en una unidad apropiada conocida como condensador. Dado que el vapor está inicialmente húmedo, este proceso se lleva a cabo en esencia a temperatura constante (en forma isotérmica). Este proceso así mismo, ocurre a presión constante en la región húmeda.

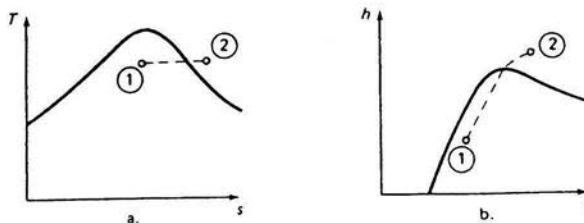
Para este proceso la cantidad de calor suministrado o liberado se determina por la relación.

$$dq = T ds$$

es decir,

$$q_{1-2} = T (s_2 - s_1)$$

En la siguiente figura se muestra el proceso isotérmico sobre varios diagramas.





## CAPÍTULO IV. CALDERAS

### 1. DEFINICIÓN

El término "caldera" se aplica a una máquina térmica diseñada para convertir agua líquida a vapor, con la finalidad de llevar calor al proceso que lo necesite.

El vapor debe ser alimentado en las condiciones deseadas, es decir, de acuerdo con la presión, temperatura, y en la cantidad, calidad y oportunidad requerida por el usuario final, en forma continua y segura; y por razones de economía, el calor debe ser generado y suministrado con un mínimo de pérdidas.

### 2. TIPOS DE CALDERAS

Las calderas se clasifican y fabrican para uso industrial en dos tipos fundamentales, que son:

- Calderas tipo tubos de agua
- Calderas tipo tubos de humo

#### 2.1 Calderas Tipo Tubos de Agua

En estas calderas los gases de combustión circulan por la parte externa de los tubos, mientras que por su interior lo hace el agua. Son empleadas para obtener elevadas presiones y rendimientos. Las calderas de tubos de agua eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.

Estas calderas tienen un gran espectro de producción de vapor, la cual puede variar desde una pequeña producción, en calderas compactas, hasta las grandes producciones de 1000 ton/h y presiones hasta 150 Kg/cm<sup>2</sup>, como es el caso de las centrales termoeléctricas.

Como es objetivo de este trabajo, a continuación se detallan las características y los principales tipos de calderas TIPO TUBOS DE HUMO.

#### 2.2 Calderas Tipo Tubos de Humo

En las calderas tipo tubo de humo, los gases de combustión son obligados a pasar por el interior de unos tubos, que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y tubo de gases, se encuentra rodeado por una carcasa exterior. Los gases calientes, al circular por los tubos ceden calor, el cual se transmite a través de los tubos, y posteriormente al agua.

La presión de trabajo normalmente no excede los 20 Kg/cm<sup>2</sup>, ya que a presiones más altas obligaría a espesores de carcasa demasiado grandes. Su producción de vapor máxima se encuentra alrededor de 25 ton/h.

##### 2.2.1 Tipos de calderas tubos de humo

Las calderas antiguas requerían grandes refuerzos, por esta razón, se construyeron las calderas tipo tubos de humo, de manera que el caudal de gases de la combustión se reparte en un gran número de tubos de diámetro pequeño que atraviesan el agua que contiene la caldera, las configuraciones de este tipo de caldera están influidas por las necesidades de transferencia térmica de modo que se puede extraer del combustible y del material la mayor parte del calor que las condiciones económicas permitan, pero adolecen del inconveniente de ser difícil su limpieza interior, la circulación del agua es deficiente, y además requiere frecuentes reparaciones.

Las calderas de tubos de humo se usan principalmente para sistemas de calefacción, para la producción de vapor requerido en los procesos industriales o como calderas portátiles. La caldera de baja presión está limitada a 1.05 Kg/cm<sup>2</sup>g de presión de vapor y la caldera de vapor para generación de fuerza, puede operar a una presión de unos 17.6 Kg/cm<sup>2</sup>g. La caldera de tubos de



humo se usa generalmente en donde la demanda de vapor es relativamente reducida (comparada con la demanda de las grandes centrales termoeléctrica).

Las calderas tipo tubos de humo se pueden clasificar como se muestra a continuación:

- a) Calderas de fogón externo
  - Calderas tubulares de retorno horizontal
  - Caldera de fogón de caja corta
  - Calderas del tipo compacto
- b) Calderas de fogón interno
  - Horizontales tubulares
    - Locomóviles o de locomotora
    - De fogón corto
    - Calderas del tipo compacto
    - Calderas tipo escocés
  - Caldera tubular vertical
- c) Calderas verticales tubulares
- d) Calderas de tipo residencial

A continuación se da una breve descripción de algunos de estos tipos de calderas mencionados.

- Calderas tubulares horizontales de retorno.

La caldera tubular horizontal de retorno fue posiblemente el tipo de caldera más usado entre las calderas de tubos de humo, para presiones hasta de  $17.6 \text{ Kg/cm}^2$  y capacidades comprendidas entre 454 y 6800 Kg/h de vapor. Fue excesivamente popular para la producción de vapor dedicado a procesos industriales de vapor dedicado a procesos industriales en plantas de pequeñas industrias. Muchas de estas calderas se siguen usando aún en la actualidad para servicios de calefacción en grandes edificios y para la producción de vapor para procesos industriales, pero van siendo ya rápidamente desplazadas por otros tipos de calderas que requieren menos trabajo de instalación.

- Calderas tipo locomovil

Es una adaptación modificada de la caldera usada en las locomotoras de ferrocarril. Está construida para emplearse como caldera de fuerza, para presiones hasta de  $17.6 \text{ Kg/cm}^2$  g y capacidades comprendidas entre 454 y 6804 Kg de vapor por hora a su rendimiento nominal de 100%. Se utiliza también en los campos petroleros y en los aserraderos, siempre que su longitud no constituya un inconveniente. Muy rara vez se le utiliza para fines de calefacción.

- Calderas de fogón corto

Las calderas de hogar corto son unas de las calderas de tubos de humo más popularizadas. La caldera portátil de fogón de caja, se usa por lo común para instalaciones de calefacción. La caldera construida para su montaje en cimentaciones de tabique, se utiliza para generación de fuerza.

- Calderas compactas

Las calderas compactas, son un tipo muy popular para servicios de calefacción de grandes residencias y para instalaciones comerciales y de edificios públicos. Los límites de su capacidad se encuentran entre 159 y 5670 Kg/h de vapor.

- Calderas verticales

La caldera vertical de tubos de humo de fabrica para dos clases de usos completamente diferentes; (1) Para generación de fuerza (caldera de fuerza) y (2) como caldera de agua caliente para servicios residenciales.



### ▪ Calderas residenciales

La caldera residencial se presenta en una variedad amplia de formas y diseños, de los cuales un porcentaje muy alto es utilizado para la producción de agua caliente, mas que para proporcionar vapor.

#### 2.2.2 Ventajas de las calderas tipo tubos de humo

Dentro de su campo de aplicación, las calderas de tubos de humo presentan respecto a las de tubos de agua (acuautubulares), las siguientes ventajas:

- El diseño de tubos de humo trabaja satisfactoriamente mediante el principio de circulación natural. Los peligros de sobrecalentamiento en las acuautubulares, como consecuencia de una mala distribución del agua son mas elevados.
- Las calderas tubos de humo son menos propensas que la acuautubular a fallos debido a impurezas del agua. El tratamiento de aguas es menos restrictivo.
- En caso de temperaturas de postcombustión altas, la ausencia de refractario en los diseños de tubos de humos, elimina los problemas de mantenimiento.
- Para presiones de trabajo bajas (de 7.14 a 15.295 Kg/cm<sup>2</sup>) la cámara de vapor existente en una caldera tubos de humo, es normalmente superior, permitiendo una carga volumétrica de vapor más reducida, y consiguientemente una menor tendencia a arrastrar agua, produciendo un vapor más seco.
- La gran cantidad de agua contenida en la envolvente, garantiza un funcionamiento estable, sin variaciones, ante posibles cambios en la demanda de vapor.

### 3. PRINCIPALES COMPONENTES DE LA CALDERA

Una caldera consiste básicamente de una envolvente ó cuerpo cilíndrico, hogar o fogón, fluxes o tubería, e instrumentación.

#### 3.1 Cuerpo de la caldera

La caldera principalmente consiste de un cuerpo cilíndrico horizontal, provisto de sus tapas colocadas convenientemente que llevan el nombre de espejos y por su colocación delantero o trasero.

La tapa trasera esta constituida de una plancha metálica la cual da cabida en su interior al material refractario y al aislante que es necesario para la correcta desviación de gases en su cambio ascendente dentro del cuerpo de la caldera.

El cuerpo de la caldera comprende 2 partes principales:

- Cámara de agua.

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cm por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores. Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

- Cámara de vapor.

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.



### 3.2 Hogar o fogón

El fogón u hogar de la caldera es el espacio localizado abajo o a un lado de la misma, en el que se quema el combustible y de donde parten los productos de esta combustión para pasar a la caldera propiamente dicha. Consta de una cámara en la que pueda ser aislada y encerrada la reacción de la combustión, de modo que esta reacción queda sujeta, como una fuerza controlada. Desde el espejo frontal de la caldera hasta terminar en el ras de la envolvente se encuentra una extensión del hogar con el objeto de permitir la colocación del refractario que va dentro del hogar inmediatamente al frente del quemador de la caldera. Este hogar de material refractario, sirve para proteger las partes metálicas de las altas temperaturas que se generan precisamente a la salida del quemador de combustible.

### 3.3 Fluxes

Los fluxes son los tubos que conducirán los gases a lo largo de la caldera antes de salir a la chimenea. Los fluxes se encuentran rodeando el hogar y hasta el segundo tercio de la caldera, se encuentran colocados en forma horizontal, de espejo a espejo. Entonces, los gases calientes viajan por el interior de todos los tubos y por la parte de fuera de ellos y dentro de la envolvente, se encuentra el agua hasta una altura aproximadamente de 10 cm arriba de la última hilera de tubos.

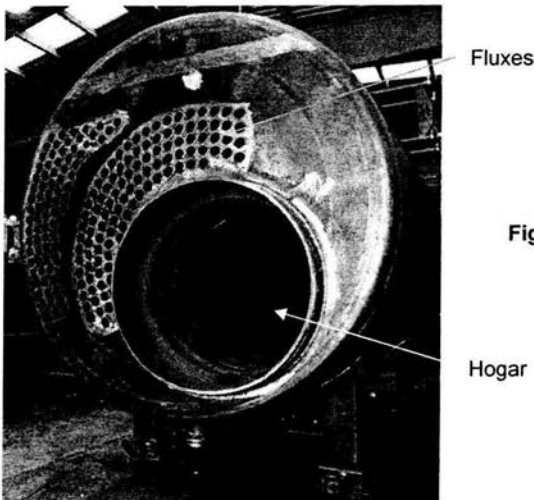


Fig. IV.A. Hogar y fluxes de la caldera

A continuación se muestra un esquema de una caldera de 4 pasos en la cual se señalan las partes descritas anteriormente:

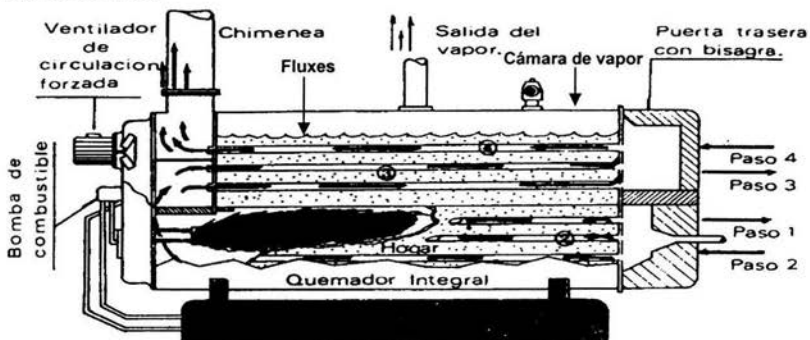
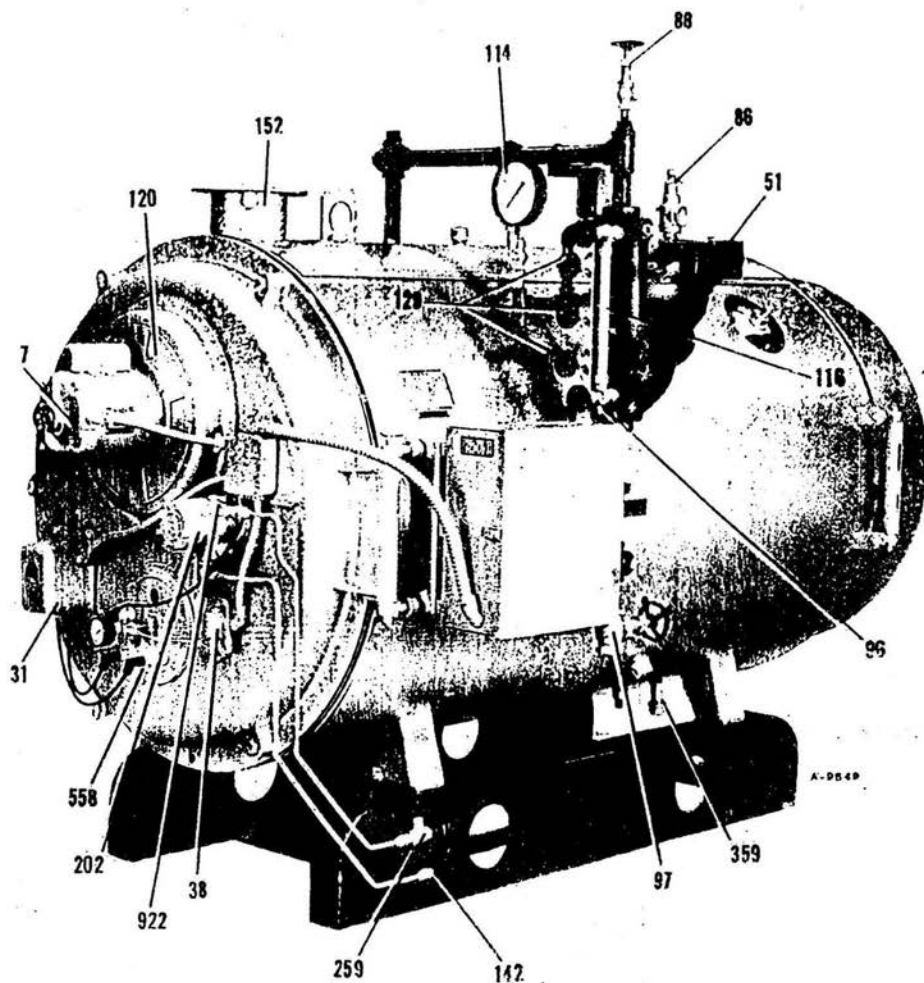


Fig. IV.B. Esquema representativo de una caldera de 4 pasos



Fig. IV.C. Esquema representativo de la instrumentación y equipos utilizados en la caldera



- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 7.- Motor del ventilador              | 120.- Compuerta Aire Secundario             |
| 31.- Transformador de Ignición        | 129.- Grifos de Prueba                      |
| 38.- Válvula de Solenoide (Primaria)  | 142.- Conexión de Suministro de Combustible |
| 51.- Control de Bajo nivel            | 152.- Base de la Chimenea                   |
| 86.- Válvula de Seguridad             | 202.- Bomba de Combustible                  |
| 88.- Válvula de Prueba                | 259.- Válvula de Retención                  |
| 96.- Purga Cristal de Nivel           | 359.- Válvula de Drenaje                    |
| 97.- Válvula de Purga Columna de Agua | 558.- Aislador                              |
| 114.- Manómetro                       | 922.- T para Cebado                         |
| 116.- Cristal de Nivel                |   |



### 3.4 Instrumentación

Convenientemente distribuidos en el cuerpo de la caldera, se encuentran orificios para:

En la parte inferior: Para purgas de fondo

En la parte superior: Para la ó las válvulas de seguridad, la válvula general de vapor, conexión para la columna de agua y salida a la chimenea.

En los costados: Para la inyección de agua mediante la bomba o bien mediante inyector de agua.

En la sección de Anexos se muestran una serie de figuras con la finalidad de dar una concepción más amplia de cómo son las calderas tipo tubo de humo.

## 4. CÁLCULO PRÁCTICO SIMPLIFICADO PARA LA CAPACIDAD DE UNA CALDERA

### 4.1 Unidades de Capacidad

Una caldera es un transmisor de calor, y por lo tanto, su capacidad está definida por la cantidad de calor transmitido y aprovechado por el agua y vapor.

La A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers), define al caballo caldera como unidad de capacidad en los siguientes términos.

Es la evaporación de 15.65 Kg/hr (34.5 Lb/hr) partiendo de 100°C(212°F) a vapor de 100°C(212°F). Estas condiciones significan que el fluido absorberá una cantidad de calor igual a :

$$\begin{aligned}
 Q &= 15.65 \text{ Kg/hr} (640 - 100) \text{ Kcal/kg} \\
 Q &= 15.65 \times 540 = 8450 \text{ Kcal/hr} \\
 Q &= 34.5 \text{ Lbs/hr.} (1050.3 - 180) \text{ Btu/lb} \\
 Q &= 34.5 \times 970.3 = 33500 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la capacidad de una caldera la podemos expresar en los siguientes términos:

$$\begin{array}{lll}
 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} & \frac{\text{Lbs}}{\text{hr}} & \text{de vapor (equivalente)} \\
 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} & \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} & \text{del vapor (equivalente) o Caballos caldera}
 \end{array}$$

Comercialmente se acostumbra expresar los términos de capacidad, según el tamaño relativo de las calderas y prácticamente encontramos dichas capacidades en los siguientes términos:

- a) Calderas pequeñas:           Kcal/hr           Btu/hr
- b) Calderas en la pequeña y mediana industria. Caballos calderas
- c) Calderas grandes           Kg/hr           Ton/hr           Lbs/hr

Todas estas capacidades son convertibles entre si tomando en cuenta la definición de caballo calderas de A.S.M.E.

### 4.2 Evaporación de una caldera

Se llama evaporación a la cantidad (Kg o Lb) de vapor que produce una caldera bajo determinadas condiciones de presión absoluta en una hora y con determinada temperatura del agua de alimentación. Por ejemplo, se dice de una caldera cuya evaporación sea 1400 Kg/h a 8.8 Kg/cm<sup>2</sup> manométricos, instalada en la Cd. de Monterrey ya la que se alimenta agua de 60°C. LA EVAPORACIÓN ES LA MEDIDA DE LA CAPACIDAD DE UNA CALDERA.





Las dificultades para designar la evaporación es estas condiciones, estriba en los siguientes puntos.

- Una misma caldera puede operar a diferentes presiones en el término de una hora, dependiendo de la demanda de vapor y, en consecuencia, de la cantidad de combustible que se alimente.
- La temperatura del agua de alimentación varía constantemente.
- La misma caldera puede estar instalada en sitios diferentes, a distintas altitudes sobre el nivel del mar.

Es decir, una caldera podría designarse en cuanto a capacidad (evaporación) con un número infinito de valores, dentro de determinados límites de presión del vapor, altitud y temperatura del agua de alimentación.

Para transferir las capacidades reales a las equivalentes que son las que proporcionan los fabricantes, intervienen el concepto FACTOR DE EVAPORACIÓN. Que es la relación que existe entre la evaporación equivalente y la evaporación real, bajo cualquier condición de operación, donde la evaporación equivalente se refiere a la evaporación comparativa bajo condiciones de presión absoluta al nivel del mar, de altitud cero y con agua de alimentación a 100 °C.

Deberá tenerse presente que las capacidades que se mencionan son capacidades máximas, es decir, considerando la máxima dotación de combustibles que puede admitir una caldera. La cantidad de vapor en Kg/h se calcula a partir de un balance térmico. Para esto se consideran dos casos.

1. Se requiere calentar una masa dada hasta una temperatura X en un periodo de tiempo Y, y se pretende determinar la cantidad de vapor requerido en Kg/h
2. Se requiere calentar y evaporar una masa en un periodo de tiempo Y, y se pretende determinar la cantidad de vapor requerido en Kg/h.

El primer caso se refiere a la determinación de calor sensible y el segundo a una determinación de calor sensible y calor latente de vaporización.

El cálculo del calor sensible se determina con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$Q_s = W \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Donde:  $Q_s$  = Calor sensible

$W$  = peso de la masa dada que deseamos calentar en una hora

$C_p$  = calor específico de la masa dada

$\Delta T$  = Incremento de la temperatura

Si una caldera tiene una capacidad de un Caballo Caldera cuando es capaz de producir 15.65 Kg/h (34.5 Lb/hr) de vapor seco desde y a 100 °C (212 °F). En consecuencia, cualquier evaporación "Equivalente" desde y a 100 °C (212 °F) dividida entre 15.65 kg/hr 34.5 Lbs/hr, nos dará el número de caballos caldera correspondiente.

**Ejemplo:** Si se tienen 950 (Kg/hr) de vapor

$$\text{Caballos Caldera (CC)} = \frac{950 \text{ Kg/h}}{15.65 \text{ (Kg/h)}/1 \text{ CC}} = \boxed{60 \text{ CC}}$$

Se puede resumir como sigue:

$$\text{Caballos Caldera} = \frac{\text{Evaporación real (Kg/hr, lb/hr)} \times \text{Factor de evaporación}}{15.65 \text{ Kg/hr (34.5 lb/hr)}}$$



O bien

$$\text{Caballos Caldera} = \frac{\text{Evaporación equivalente Kg/hr; Lbs/hr desde y a } 100^{\circ}\text{C (212 }^{\circ}\text{F)}}{15.65 \text{ Kg/hr (34.5 lb/hr)}}$$

## 5. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA CALDERA

### 5.1 Definición

La eficiencia de una caldera es la relación entre el calor aprovechado por el fluido (agua y vapor) y el calor que suministra el combustible al mismo en una hora.

La eficiencia de la caldera en su planta es determinada por dos factores:

1. Diseño de la caldera y limpieza de las superficies de calefacción
2. Diseño del quemador y habilidad de éste para ser ajustado y sostener la relación aire-combustible.

### 5.2 Tipos de Eficiencia

Hay tres tipos diferentes de eficiencia:

1. Eficiencia de combustión
2. Eficiencia térmica
3. Eficiencia total de la caldera

#### Eficiencia de combustión

Esta es la efectividad exclusiva del quemador y está relacionada con su habilidad para quemar totalmente el combustible. La caldera propiamente tiene poca relación, sobre la eficiencia de combustión. Con un 15% a 20% de exceso de aire, un buen quemador deberá tener una eficiencia de combustión de 94% a 97%.

#### Eficiencia Térmica

Esta es la efectividad de la transmisión de calor en un cambiador de calor. Esta no toma en cuenta las pérdidas por radiación y convección y varias otras pérdidas, tales como: la variación en el poder calorífico, precisión en la medida del combustible, vapor y agua, o peso de los accesorios. Las pérdidas por radiación, convección y varias pueden ser de 1% a 3% de la capacidad desarrollada por la caldera y su valor depende del tamaño de ésta.

#### Eficiencia total de la caldera.

Este es un término general y significa la eficiencia térmica total o sea la eficiencia combustible a vapor. La eficiencia total de una caldera es la relación entre el calor aprovechado por el fluido (agua y vapor) y el calor que suministra el combustible al mismo, en una hora. La eficiencia de una caldera o generador de vapor se puede expresar como sigue:

$$(A) \quad \eta = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{calor suministrado}}$$

Esta expresión también puede indicarse de la siguiente manera:

$$(B) \quad \eta = \frac{\text{calor suministrado} - \text{calor perdido}}{\text{calor suministrado}}$$

### 5.3 Cálculo de la eficiencia

Para comprobar la eficiencia de una caldera existen dos métodos:



1. Método Directo (fórmula A)

Se requiere de instrumentos apropiados para la medición de la cantidad total de Kcal (Btu), contenidas en la cantidad de combustible utilizado (suministrado), y el total del Kcal (Btu), aprovechadas por el vapor.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, el equipo de medición, no está disponible y los cálculos no pueden ser hechos convenientemente, o con precisión. De aquí, que existe un método más práctico y mas usado y que además proporciona un buen grado de precisión.

2. Método Indirecto (de acuerdo a fórmula B. Aproximado)

a) Equipo requerido.

Analizador de gases, para comprobar el contenido de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, y CO en los gases de la combustión.

Termómetro en la chimenea

Termómetro en el cuarto de calderas

Gráficas para pérdidas de calor a través de la chimenea para distintos combustibles

Gráficas de corrección para sumar pérdidas por radiación. Convección y pérdidas varias.

b) Procedimiento

Después de operar una caldera por varias horas, proceder de la siguiente manera:

Tomar la temperatura en la base de la chimenea

Medir el contenido de CO<sub>2</sub> en el flujo de gases de la combustión

Obtener la diferencia de temperaturas entre la temperatura en la chimenea, y la temperatura del cuarto de calderas, con la finalidad de obtener las pérdidas netas de temperatura en la base de la chimenea.

Con éstos datos , y de acuerdo a las gráficas 1E, 2E, 3E Y 4E (Del Anexo Cap. IV) obtener el porcentaje de las pérdidas de calor, a través de la chimenea.

Sumar las pérdidas de calor por radiación y convección y pérdidas varias.

Finalmente, restar la cifra obtenida del 100% y obtener la eficiencia de la caldera.

**Ejemplo:** Caldera modelo Cb de 100 caballos caldera de capacidad, con una presión de diseño de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup> (15 lbs/pulg<sup>2</sup>). Si esta caldera tiene una temperatura en la base de la chimenea: de 340 °F, una temperatura en el cuarto de calderas: de 80 °F, 10% de CO<sub>2</sub> y utiliza Gas Natural como combustible, determinar su eficiencia.

1. Las pérdidas netas de temperatura en la base de la chimenea son de:

$$340^{\circ} - 80^{\circ} = \underline{260^{\circ}\text{F}}$$

2. Con la lectura de CO<sub>2</sub> de 10% y la temperatura calculada, se utiliza la gráfica 3E (Del Anexo Cap. IV) para obtener la pérdida de calor en la base de la chimenea:

$$= \underline{15.6\%}$$

3. Si ahora se suman 2% por pérdidas por radiación, convección y pérdidas varias, entonces:

$$\text{Total de pérdidas: } 15.6\% + 2\% = \underline{17.6\%}$$

4. Entonces, la eficiencia aproximada de la caldera es:

$$100\% - 17.6\% = \boxed{82.4\%}$$

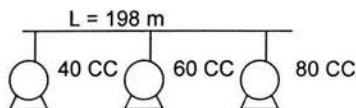


## 6. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE INSTALACIÓN PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS CON GASES COMBUSTIBLES.

Para determinar las dimensiones de una línea de gas se siguen los siguientes puntos:

1. Determinación de los siguientes datos a partir de la capacidad (CC) de la caldera seleccionada
  - a) Flujo CFH, a partir de la tabla No. 3 (Del Anexo Cap. IV), teniendo como referencia la capacidad en CC de la caldera.
  - b) Presión requerida a la entrada del tren de gas sobre la caldera (pulgadas de agua), de la tabla No. 4 (Del Anexo Cap. IV).
  - c) Densidad del gas (proporcionada por el distribuidor).
  - d) Presión garantizada, (pulgadas columna de agua), a la salida del medidor,
  - e) En base a gráficas 9-13 (Del Anexo Cap. IV), se selecciona un diámetro de acuerdo a los CFH de combustión para determinar la caída de presión por cada 100 ft de tubería.
  - f) Se multiplica esta caída de presión por la longitud de tubería dada y si las pulgadas columna de agua son menores a 2 " C.A ( que es el recomendado por proveedor), el diámetro escogido es el adecuado.

**Ejemplo:** Calcular el diámetro de la línea de distribución de 3 calderas según diagrama anexo.



**Solución.**

1. De tabla No. 3 (Del Anexo)  
Se busca la equivalencia de los CC, en  $\text{ft}^3/\text{h}$ :  
 $40 \text{ CC} = 525 \text{ ft}^3/\text{h}$   
 $60 \text{ CC} = 785$   
 $80 \text{ CC} = \frac{1045}{2355 \text{ ft}^3/\text{h}}$
2. Suponiendo un diámetro de 3"  
De gráfica No. 11 (Del Anexo):  
Caída de presión es = 0.25 " C.A.
3. Entonces:  $\frac{0.25 \text{ " C.A.}}{100 \text{ ft}} \times 650 \text{ ft} = 1.625 \text{ " C.A.}$
4. Si analizamos los resultados:  
 $1.625 \text{ " C.A.} < 2 \text{ " C.A.}$   
Por tanto, el diámetro del tubo es de: 3 "

## 7. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE CALDERAS

Antes de seleccionar el equipo, es preciso determinar con exactitud la clase de trabajo y las condiciones en que ha de operar, para después planificar la completa disposición de la planta.

La compra de una caldera, es una de las inversiones mas durables. El promedio de vida de una buena caldera es de alrededor de 25 años y durante este tiempo, es de gran importancia el costo



de funcionamiento de la misma. Para realizar una compra adecuada en lo que se refiere a calderas es necesario considerar una serie de factores bastante importantes, que son:

- Cálculo preciso de la cantidad requerida de vapor
- (Esto es de gran importancia, ya que al final, este cálculo nos determinará la capacidad de la o las calderas que será necesario adquirir).
- Presión, temperatura o clase de vapor que se necesita.
- Previsión de necesidades futuras.
- Localización y objeto de la instalación.
- Características de la carga.

No es recomendable pagar por una capacidad que nunca se va a utilizar completamente, esto es a todas vistas antieconómico, así también es de importancia la determinación de la presión que el vapor debe tener para el buen desarrollo de un proceso determinado.

Una caldera es seleccionada correctamente cuando proporciona un servicio eficiente, y no propicia desperdicios de combustible.

Otros factores importantes que deben tomarse en consideración, son los siguientes:

- Clase de equipo que se puede obtener
- Selección de los quemadores
- Selección de equipos auxiliares
- Valor calórico y características del combustible del que se dispone
- Plazos de entrega de la maquinaria
- Limitaciones y condiciones del espacio del que se dispone para las instalaciones
- Condiciones existentes para el mantenimiento y operación de la planta
- Clase de tiro del que se dispone
- Equipo ya existente que tenga relación con la nueva instalación
- Consideraciones necesarias sobre el costo de la obra

Además se debe de tener presente los siguiente puntos:

### ***El agua de alimentación disponible***

Factor que debe considerarse primordialmente antes de obtener una caldera, ya que el agua determinara también la duración y buen funcionamiento de la caldera.

### ***Tiempo de operación diaria de la caldera***

Debe considerarse este renglón, ya que es de gran influencia en la cantidad de vapor que se requiera, así como en la elección del combustible a utilizar, y consecuentemente en la selección de la caldera apropiada.

### ***Tipo de caldera a utilizar y número de unidades***

Íntimamente ligado a esto, está la demanda de vapor que se tenga, generalmente es recomendable utilizar calderas de tubos de humo en capacidades desde 5 cc, hasta 800 cc, o sean necesidades de vapor desde 78.25 Kg/h de vapor hasta 12520 Kg/h. Para capacidades mayores que las anteriores es recomendable utilizar calderas tipo tubos de agua.

De acuerdo también a la demanda de vapor que se tenga, existen varios criterios para determinar el número de unidades a utilizar.

Si la demanda de vapor es muy grande, es recomendable adquirir dos o más calderas de la misma capacidad, esto para tener la flexibilidad de poder darles mantenimiento con mayor facilidad, y poder contar con una caldera como mínimo en cualquier momento crítico.



### **La selección del combustible**

La selección del combustible, es una consideración primaria en la elección de una caldera. Su elección de gas, diesel o petróleo pesado, estará basada en el costo total, limpieza y facilidad de obtención, de almacenamiento y de operación.

La determinación de los costos de operación, está dentro de las siguientes consideraciones:

- a) El combustible propiamente dicho
- b) Facilidad de almacenamiento
- c) Mantenimiento del quemador de combustible y del equipo de manejo del mismo. Así como también la labor de operación de este equipo.

El gas natural es el combustible ideal para cualquier caldera, pero, restricciones de diversa índole, lo han hecho actualmente poco factible de utilizar. El precio del gas LP (embotellado), lo hacen altamente prohibitivo. Nuestra realidad en energéticos, nos hace tener que disponer con mayor frecuencia de los combustibles líquidos existentes en el mercado nacional.

Los más recomendables son el diesel (combustible ligero), el cual es recomendable utilizarlo en calderas con capacidades hasta de 60 CC, con un tiempo de operación diaria de 10 a 16 hrs. Por día, su manejo, es relativamente limpio y fácil de almacenar.

Finalmente el petróleo pesado (Combustóleo) es el combustible más barato de que se dispone en el mercado nacional. Es recomendable su utilización en calderas de 80 CC, y más. La utilización de este combustible (petróleo pesado) es claro más compleja, su alta viscosidad hace necesario que se eleve su temperatura, tanto en el tanque de almacenamiento, como en la caldera misma, siendo mayor el equipo requerido para su manejo. Pero debido a su bajo costo, es el más altamente utilizado.

Su utilización es recomendable para calderas de 80 CC y 24 horas de operación o calderas de mayor capacidad.

### **Obtención de los costos de operación**

El costo de operación más importante de una caldera es el costo del combustible y es de gran importancia y factor básico para decisión en la selección de una caldera, ya que esto nos representa grandes ahorros, y una rápida amortización de la inversión original en el caso de una selección adecuada, o en caso contrario, grandes pérdidas debido a la mala selección inicial.

Los costos de la operación están influenciados en gran parte por la eficacia garantizada en la caldera que se seleccione.

### **El espacio disponible**

La influencia del espacio que se dispone, es la selección de una caldera muchas veces es causa de serios problemas, que pueden afectar de la decisión en la selección de una caldera, pero no es recomendable sacrificar la calidad en el equipo por adquirirse con el consecuente ahorro de espacio, ya que seguramente los costos de operación posteriores, se verán grandemente afectados.

Finalmente, las apreciaciones personales o la previa experiencia pueden, ocasionalmente, ejercer gran influencia sobre la selección del equipo; además de las condiciones prevalecientes en las instalaciones.



## 8. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE CALDERAS

Considerando que la caldera es un recipiente a presión, sus partes se diseñan para soportar máxima presión a que están ajustadas sus válvulas de seguridad. La operación de una unidad generadora de vapor, comprende:

1. La conversión del potencial energético del combustible energía térmica y
2. La transmisión de esta energía a un medio (generalmente vapor de agua), que pueda emplearse en un trabajo útil.

Cada paso dado en el proceso de la generación de calor, está asociado al fenómeno de transmisión de calor, cuyo punto culminante es el cambio de estado del agua, de líquido a gaseoso. El análisis fructífero de la transmisión de calor se logra únicamente por la aplicación de un juicio basado en la experiencia, que debe descansar sobre principios básicos, analogía y valores empíricos, para reconocer en sus detalles completos los factores determinantes. El diseño de calderas es un campo de alta especialización.

### 8.1 Consideraciones para el diseño

El problema básico del diseño, consiste en “disponer la superficie total de absorción de calor de una manera tal, que extraiga el calor máximo obtenible del combustible y de los productos de la combustión”. Al mismo tiempo aparece el problema económico de obtener la máxima eficiencia al costo mínimo posible (evaluaciones tanto en lo inicial, como a largo plazo).

Para esto es necesario analizar algunos puntos importantes relacionados con el proceso para el cual ha de destinarse el vapor a generar, como son los que a continuación se mencionan.

#### 8.1.1 Necesidades del servicio

La caldera de una planta industrial, representa solamente una fase, en el proceso de fabricación del artículo terminado. Con frecuencia necesita desarrollar un trabajo difícil, bajo condiciones desfavorables de demanda de vapor, agua suministrada y combustible utilizado. La carga de vapor de una planta industrial, puede ser completamente imprevisible; aumentar repentinamente, bajar sin prevención alguna o fluctuar continuamente oscilando entre los extremos de carga máxima y mínima. El agua de alimentación y el combustible son frecuentemente de mala calidad. Pero el espectro de un posible estancamiento de la producción, exige un servicio seguro, ininterrumpido, dentro de una economía razonable.

Algunas de las consideraciones principales que contribuyen a reducir el costo inicial de un generador de vapor, para servicios de calefacción y procesos industriales son, generalmente, las siguientes (en el orden de importancia que se enumeran):

1. Seguridad en el servicio
2. Costo de adquisición
3. Entrega inmediata
4. Eficiencia
5. Costo de operación, y
6. Servicio adecuado.

#### 8.1.2 Características de la carga

Para el diseño de una unidad generadora de vapor, es necesario determinar las siguientes características de la carga:

1. Carga mínima, normal y máxima
2. Duración de cada una de esas fases de la carga
3. Factor de la carga
4. Naturaleza de la carga, constante o intermitente



El diseño determinará la capacidad de la caldera para sostener una carga normal con una eficiencia alta, así como para responder a una demanda alta y los cambios bruscos de la carga. Determinará la rapidez con la que la unidad puede calentarse hasta hacer vapor a su plena capacidad.

### 8.1.3 Características del combustible

Las bases para el diseño de los mecanismos destinados a quemar, son determinados por las cualidades del o de los combustibles que han de emplearse. El diseñador tiene que considerar no solamente la clase de combustible que se puede obtener, sino también su valor calórico y sus propiedades. Debe también investigar las propiedades de las cenizas, incluyendo:

- a) Punto de fusión de la ceniza
- b) Pérdidas por combustible no quemado (carbón en la ceniza suelta y en los desperdicios),y
- c) Presencia de azufre, vanadio y otros elementos extraños.

### 8.1.4 Operación de la caldera

Los requisitos de la limpieza y del mantenimiento tienen que guardar un equilibrio razonable en relación con la más alta eficiencia de transmisión de calor.

Es una condición indispensable que una caldera sea fácilmente accesible para su mantenimiento, manejo, reparación e inspección, por lo cual, es necesario tomar providencias para (1) la fácil limpieza de los tubos, química o mecánicamente, (2) el sopleteo del hollín y (3) el lavado de las superficies del economizador y del calentador de aire.

### 8.1.5 Inversión

Los constructores de casas que especulan y todos los contratistas que aceptan una obra a precio fijo, se interesan exclusivamente por el costo inicial de un equipo, sin embargo el propietario se interesa en el costo global a largo plazo de una instalación, incluyendo costos de combustible y de operación salvo que por razones especiales se interesan únicamente por el valor de adquisición. Las apreciaciones de la investigación comprenden los siguientes puntos:

- Costo inicial del equipo
- Costo del combustible
- Mano de obra y materiales necesarios para la operación, mantenimiento y reparaciones
- Costos relacionados con la unidad tales como la fuerza necesaria para el bombeo y los ventiladores, dispositivos para el manejo de cenizas, etc.
- Duración prevista del equipo.

## 8.2 Elementos a diseñar

Para una economía máxima general, cada parte componente y cada proceso deben estar en correcta proporción en relación con los demás elementos y procesos, de manera que toda la unidad en conjunto represente un diseño equilibrado. Estos elementos y procesos, incluyen lo siguiente:

- Caldera
- Fogón
- Equipo para quemar el combustible
- Recolección y transporte de cenizas
- Separadores de vapor
- Agua de alimentación
- Sistema de purga
- Suministro de aire para la combustión
- Remoción de los productos de la combustión
- Cimentaciones y soportes
- Refractarios y mamparas
- Precalentamiento de aire y del agua
- Accesorios de la caldera





A continuación se describen los puntos más relevantes.

- La caldera

La función principal de la caldera propiamente dicha, es proporcionar un medio por el cual el calor procedente de la combustión se transmita al agua o al vapor que debe ser calentado. El objetivo que persigue el diseñador es lograr la mejor disposición de la superficie de calefacción, de acuerdo con las limitaciones en cuanto al espacio disponible y los arreglos necesarios en el fogón y en los demás componentes.

El tipo de caldera así como la presión y la temperatura de trabajo, tienen gran influencia sobre el diseño. El diseñador tiene como meta de trabajo la obtención de una eficiencia máxima al costo de operación más bajo; o bien se propone conseguir un costo inicial mínimo.

Los requisitos de la calidad del vapor afectan una parte del diseño de la caldera. Si se requiere una calidad de 99.5%, se necesita vapor seco y tienen que agregarse separadores de vapor.

La circulación del vapor y del agua dentro de la caldera, es decisiva para la efectividad de la superficie transmisora de calor. Los precipitados o sedimentos tienen que depositarse en donde no afecten a la superficie principal de transmisión de calor y de donde puedan ser evacuados por purga o por limpieza periódica. La cantidad de agua contenida en la caldera determina la rapidez con la que puede calentarse para alcanzar las condiciones de evaporación (o producción de vapor).

- Fogón

Su diseño es el factor más importante para el funcionamiento eficiente de una caldera. Una falla en el fogón en cualquier sentido ocasionará problemas en el mantenimiento o en el trabajo y al mismo tiempo se reducirán la eficacia y la capacidad de la unidad. Por esto, es absolutamente necesario prever la temperatura de salida del fogón, porque el diseño del resto de la unidad generadora de vapor depende de este dato. La transferencia de calor de un fogón es afectada por la complicada geometría del mismo, por la forma y el largo de la flama, características de la superficie de las paredes, de la emisividad de la flama y el estado de limpieza de las superficies. La cámara de combustión debe tener el espacio suficiente para contener la flama.

El objetivo del diseñador es lograr la construcción de un fogón de las siguientes cualidades:

- a) Que quemé el combustible satisfactoriamente, dotándolo de los quemadores adecuados
- b) Dar forma a un ducto adecuado para conducir los gases de la combustión hacia el resto de las superficies destinadas a la absorción del calor.
- c) Volumen suficiente para las necesidades de la combustión.
- d) Proporcionar temperaturas de salida adecuadas para el supercalentamiento (por encima de la temperatura de régimen de operación).
- e) Proveer paredes suficientemente accesibles para su limpieza a fin de asegurar los resultados que se desean.
- f) Funcionamiento eficaz con combustibles que tienen características desventajosas, tales como cenizas a baja temperatura, vanadio, alto contenido de cenizas, alto contenido de azufre e impurezas similares.

El calor obtenible al quemar combustible, corregidos los pequeños detalles, tales como pérdidas por combustión incompleta, es la base para todos los cálculos de diseño de las calderas.

El coeficiente de absorción de calor de la pared del fogón, varía dentro de un margen de 8820 a 20160 Kcal/m<sup>2</sup>/h o un poco más en la superficie de calefacción efectiva. Este coeficiente de absorción depende del tipo de combustible, emisividad de la flama y del método de combustión. En las publicaciones técnicas, los autores difieren en cuanto al valor de los coeficientes de absorción de calor. En las calderas de tubos de humo, tomando en cuenta los métodos de valorización menos conservadores, se tendrá una liberación de calor menor de 108497 Kcal/m<sup>2</sup>/h en la



superficie de calefacción de las paredes del fogón enfriadas por agua. La forma del fogón se guía por el tipo de combustible a emplear y por el método seguido para quemarlo.

- Agua de alimentación

El agua que se introduce a la caldera para ser convertida en vapor, recibe el nombre de agua de alimentación. Si se trata de condensado que es recirculado, habrá pocos problemas. Pero si es agua cruda, probablemente habrá necesidad de liberarla de oxígeno, precipitados, sólidos en suspensión, sustancias incrustantes y otros elementos contaminantes. La presencia de ingredientes que provocan la formación de incrustaciones, espumas o arrastre de agua con el vapor, afectarán desfavorablemente, en todos los casos, el funcionamiento de la caldera.

### 8.3 Consideraciones Teóricas

#### 8.3.1 Transmisión de calor

El flujo del calor de la caldera, que se origina al quemarse el combustible y que es conducido por los productos de la combustión hacia el agua o el vapor, se efectúa por tres vías: (a) la de radiación, (b) la de convección y (c) la de conducción. Por uno u otro de éstos conductos, o por la combinación de los tres, se desarrollan todas las fases de la transmisión del calor.

- a) La radiación, es la transferencia directa de calor en forma de energía radiante, procedente de la incandescencia del combustible o de las flamas luminosas y de los refractarios, a los tubos o al cuerpo de la caldera.
- b) La convección, es la transferencia de calor entre un fluido (gaseoso o líquido), causada por el movimiento o agitación, que fuerza a las partículas calientes a reemplazar continuamente a las enfriadas al contacto con la superficie absorbente de calor. La convección natural o libre, es causada solamente por las diferencias de densidad, que provienen del diferencial de temperatura. La convección forzada, es causada por medio de fuerza mecánica, aplicada para impartir movimiento al fluido.
- c) La conducción, es la transferencia de calor de una parte a otra de un mismo cuerpo o a otro cuerpo con el que se está en contacto físico, pero sin un desplazamiento apreciable de las partículas dentro de dicho cuerpo.

La transferencia de calor es afectada en grado variable por los siguientes factores:

- a) La temperatura de la flama o de los productos de la combustión.
- b) Turbulencia y choque de los gases calientes sobre las superficies que contienen agua en el lado opuesto, explicable por el coeficiente de transmitancia superficial de calor.
- c) Acumulaciones de escorias, cenizas volátiles u hollín en las superficies en contacto con el fuego.
- d) Conductibilidad del metal
- e) Acumulación de incrustaciones o sedimentos en las superficies en contacto con el agua.
- f) Turbulencia y movimiento del vapor y del agua, explicable por el coeficiente de evaporación superficial.

#### 8.3.2 Superficie de Calefacción

El contorno, diseño y localización de la superficie de calefacción, son todos factores importantes. La **superficie de calefacción** debe permanecer limpia. Si se ensucia fácilmente, o no se puede limpiar debidamente, no trabajará con efectividad. Las acumulaciones de escoria y hollín en el lado del fuego, o de las de incrustaciones y sedimentos en el lado del agua, tienen el efecto de mayor importancia sobre la transmisión de calor de todos los factores indicados.

La acumulación de materiales extraños, ya sea en el lado del agua o en la superficie del fuego, ocasiona pérdida de eficiencia. Los depósitos de lodos o las incrustaciones conducen al sobrecalentamiento y rupturas en los tubos. El hollín y otros cuerpos adheridos a la superficie del lado del fuego, no causan daños mayores, pero los ácidos que se forman por la reacción química



entre la humedad y los productos sulfurosos, provoca la corrosión y la ruptura de los tubos. Las cenizas muy finas y otras partículas duras causan la abrasión de las superficies del lado del fuego. El diseño de la superficie de calefacción está condicionado por la caída deseada de la temperatura y por la pérdida de tiro tolerable y que incluye la combinación de los diámetros de los tubos, el espaciamiento entre los mismos, su longitud, el número de tubos a lo ancho y en el fondo, así como las mamparas para los retornos de los gases.

El factor principal del problema en el diseño de una caldera, consiste en obtener la relación correcta entre (1) la caída de temperatura de los gases, (2) la superficie de calefacción y (3) la pérdida de tiro que proporcione la transmisión de calor más económica. En las calderas de tubos de humo, el costo aumenta con el número de fluxes.

La longitud de los tubos determina generalmente la localización del domo, de los cabezales o planchas portatubos. La corriente tolerable de masas de fluidos (gas, aire o agua) determina el ancho de la caldera. Todas las superficies de calefacción deben poderse limpiar, de otra manera no absorberán calor.

### 8.3.3 Circulación en la caldera

Para remover el calor de las superficies de la caldera, es necesario prever una circulación positiva y adecuada del agua y del vapor (que debe efectuarse en una dirección predeterminada), a través de todos los circuitos de la caldera. El flujo de agua, vapor o cualquier otro fluido dentro de la caldera es llamado circulación.

El agua, al calentarse, pierde densidad y tiende a elevarse hacia la parte superior del recipiente; a la inversa, el agua fría tiene la tendencia a desplazarse hacia el fondo. Si el agua es calentada hasta su temperatura de ebullición se forman pequeñas burbujas de vapor en la superficie calentada. Estas burbujas se adhieren al metal (a consecuencia de la tensión superficial), hasta que son arrastradas por la circulación del agua. Como el vapor es mucho más ligero que el agua, se eleva rápidamente y este movimiento del vapor ocasiona turbulencia y circulación.

La circulación correcta es una necesidad. La capacidad de producción de vapor, está en relación directa con el grado de circulación del agua. Una circulación lenta o el estancamiento de la misma, permite la formación de grandes burbujas que conducen al ampollamiento de los tubos o a que se quemen.

### 8.3.4 Capacidad de la caldera

Una caldera con un contenido grande de agua en relación con su capacidad necesitará un periodo largo para calentarse. Esta tardanza no es deseable debido a que la caldera no puede ser correctamente controlada y su eficacia anual será relativamente baja. A la inversa, si la caldera es demasiado pequeña, se calentará rápidamente (y se sobrecalentará también), haciendo trabajar al quemador con ciclos cortos que afectarán desventajosamente la operación de la unidad.

Las calderas con muy escaso contenido de agua, presentarán dificultades para su control, porque los cambios de su temperatura serán muy bruscos, lo que entorpece la acción de los aparatos de control.

### 8.3.5 Espacio para vapor

Es indispensable contar con un espacio adecuado de vapor para impedir el arrastre del agua. El arrastre de espuma y agua ocurrirá siempre que la caldera esté sucia, independientemente del tamaño de la cámara de vapor. La distancia vertical entre el nivel de agua y el cabezal debe ser de cuando menos 457 mm (18 plg). Otros factores que afectan las características del arrastre de agua son:

- a) El tamaño de la superficie de evaporación
- b) El número y tamaño de las tomas de vapor
- c) El sistema de circulación de agua de la caldera



La limitación más importante para la capacidad de vapor de una caldera, es la cantidad de combustible que puede ser quemado en el fogón. Cuando se ha logrado obtener el valor máximo de la eficiencia en la combustión de determinado combustible, el único método a seguir para obtener mayor capacidad es quemando mayor cantidad de combustible o lograr mayor aprovechamiento de la cantidad de combustible quemada. La cantidad de combustible que se puede quemar, esta limitada por el volumen del hogar y por el equipo de combustión.

#### 8.3.6 Limitaciones de la eficacia

La eficacia de la unidad generadora de vapor depende de (1) las características de diseño de la caldera, (2) el combustible empleado y el equipo de los quemadores y (3) las condiciones de operación.

Los factores que afectan a un generador de vapor son: (1) el acceso de aire, (2) la temperatura de los gases de combustión, (3) combustión incompleta (combustible que queda sin quemarse), (4) mantenimiento defectuoso y (5) operación a baja capacidad.



## CAPÍTULO V. TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1 Su uso industrial.

El agua es el compuesto más abundante en la superficie del planeta, el más ampliamente utilizado y el más necesario para el desarrollo de la vida en todas sus fases, para el desarrollo comercial, industrial, etc.

Los usos del agua los podemos clasificar de la siguiente manera:

|            |  |   |
|------------|--|---|
| Doméstico  | {<br>Bebida<br>Usos domésticos   | {<br>Higiene personal<br>Higiene de la vivienda<br>Vehículo para eliminar residuos varios, etc. |
| Comercial  | {<br>Higiene<br>Vías de comunicación, etc  |   |
| Industrial | {<br>Fuente de energía incorporada a diversos productos manufacturados<br>Como elemento auxiliar de fabricación<br>Como refrigerante o transportador de calor<br>Agua para fines generales |   |
| Agrícola   | {<br>Riego<br>Lavado de terrenos, etc  |   |
| Público    | {<br>Demanda de incendios<br>Higiene de las poblaciones, etc.  |   |

El uso del agua en el sector industrial es muy amplio e importante ya que se emplea de varias maneras, una de ellas es, la generación de vapor para usar la energía y calor contenidas en él.

En toda industria que consuma vapor es necesario que se conozcan perfectamente todos los requisitos para poder generar el mejor vapor.

Por eso esta razón es que el agua siempre requiere un tratamiento previo, ya que de no ser así, se presentarán problemas de diversa índole, tales como: sedimentaciones, incrustaciones, fragilizaciones, corrosiones, así como productos elaborados en forma no adecuada.

Para poder tratar el agua es necesario precisar la utilización que se le va a dar y conocer a fondo las impurezas que lleva consigo, para que de esta forma se pueda atacar el problema de manera efectiva.

Así pues, se presenta la necesidad de conocer y aplicar el mejor procedimiento para tener las condiciones idóneas del agua para una caldera.

#### 1.2 Impurezas usuales

El agua natural contiene ciertas impurezas que aumentan el consumo de combustible y el costo de mantenimiento así como la reducción de la vida útil de la caldera.

Los contaminantes usuales del agua alimentada son normalmente trazas y/o cantidades mayores de sustancias inorgánicas, tales como calcio, magnesio y sílice, las cuales en la mayor parte deben ser eliminadas en el sistema de pretratamiento. Los contaminantes que regresan en el condensado



son usualmente hierro y cobre, procedentes de la corrosión de las tuberías, y en menor cantidad sustancias orgánicas cuyo origen es debido al contacto del vapor en las unidades del proceso.

Por lo cual, las impurezas del agua de alimentación se pueden dividir en:

- a) Sustancias incrustantes  
Las principales son los carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio así como el hidróxido de magnesio.
- b) Sustancias espumantes
  - Minerales: estas sustancias usualmente contienen sosa en forma de carbonatos, cloruro o sulfato.
  - Orgánicas: generalmente corresponden a aguas negras
- c) Sustancias que forman cieno  
Son generalmente partículas sólidas o minerales u orgánicas en suspensión.
- d) Sustancias corrosivas  
Estas pueden ser compuestos químicos, cloruro de magnesio, ácidos libres o gases tales como oxígeno y dióxido de carbono.

| Nombre                  | Fórmula                            | Nombre común             | Efecto         |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|----------------|
| Carbonato de calcio     | CaCO <sub>3</sub>                  | Mármol, caliza o calcita | Incrustación   |
| Bicarbonato de calcio   | Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> |                          | Incrustación   |
| Sulfato de calcio       | CaSO <sub>4</sub>                  | Yeso de París            | Incrustación   |
| Cloruro de calcio       | CaCl <sub>2</sub>                  |                          | Corrosión      |
| Sulfato de magnesio     | MgSO <sub>4</sub>                  | Sales Epsom              | Incrustación   |
| Bicarbonato de magnesio | Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> |                          | Incrustación   |
| Cloruro de magnesio     | MgCl <sub>2</sub>                  |                          | Corrosión      |
| Hidróxido de magnesio   | Mg(OH) <sub>2</sub>                |                          | Incrustación   |
| Cloruro de sodio        | NaCl                               | Sal común                | Electrólisis   |
| Carbonato de sodio      | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>    | Soda ash, sosa común     | Alcalinidad    |
| Bicarbonato de sodio    | Na(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> |                          | Espuma         |
| Hidróxido de sodio      | NaOH                               | Sosa cáustica            | Cristalización |
| Sulfato de sodio        | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>    | Sales de Glauber         | Incrustación   |
| Dióxido de silicio      | SiO <sub>2</sub>                   | Sílice                   | Incrustación   |

Una parte del agua de alimentación a calderas es, agua que normalmente habrá tenido un pretratamiento, y la otra es el retorno de vapor condensado. En función de los pretratamientos que se utilizan para el retiro de contaminantes, se citan dos tipos de agua de alimentación: el agua blanda y el agua desmineralizada. El agua que ha tenido un pretratamiento tal que ha posibilitado la virtual eliminación de sus contaminantes es denominada por agua desmineralizada. Cuando se emplea agua desmineralizada como agua de alimentación a calderas, la primera fuente de contaminantes será el hierro y cobre que retornan en el condensado. El agua blanda resulta como consecuencia de la sustitución del calcio y magnesio por sodio durante el proceso de pretratamiento, de tal modo que, si el agua blanda es utilizada como agua de alimentación a calderas, deberá tenerse presente que en ella existirán pequeñas cantidades de contaminantes, más el hierro y cobre que regresan en el condensado.

El mejor método para eliminar impurezas depende del tamaño de la instalación, de la presión de trabajo de la caldera, de la cantidad de agua de repuesto y de las características del agua cruda.



Los efectos de la impurezas del agua de alimentación en las calderas son:

- a) Formación de espuma y priming
- b) Formación de cieno o lodo el cual se deposita en la superficie de calentamiento con el consiguiente peligro un sobrecalentamiento de placa o tubos.
- c) Formación de incrustaciones en las superficies de calentamiento, lo cual retarda la transmisión de calor por el metal, perdiéndose así calor y causando peligro de que las placas se sobrecalienten y quemen o se abolsen.
- d) Corrosión de las placas y otras superficies metálicas

### 1.3 Conceptos Importantes

Para determinar el tipo de tratamiento que ha de dársele al agua de alimentación a las calderas, es necesario conocer en detalle los siguientes conceptos:

#### 1.3.1 Sólidos Disueltos Totales

Cuando el agua es evaporada y se forma vapor, los minerales o sólidos disueltos y suspendidos en el agua, permanecen dentro de la caldera. El agua de reposición contiene una carga normal de minerales disueltos, estos hacen que se incrementen los sólidos disueltos totales dentro de la caldera. Después de un periodo de tiempo los sólidos disueltos totales (TDS) alcanzan niveles críticos dentro de la caldera. Estos niveles en calderas de baja presión se recomienda que no excedan de 3500 ppm (partes por millón o miligramos por litro). TDS por encima de este rango pueden causar espuma, lo que va a generar arrastres de altos contenidos de TDS en las líneas de vapor, las válvulas y las trampas de vapor. El incremento en los niveles de TDS dentro de la caldera es conocido como "ciclos de concentración", este término es empleado con frecuencia en la operación y control de la caldera. Agua de alimentación que contiene 175 ppm de TDS puede ser concentrada hasta 20 veces para alcanzar un máximo de 3500 ppm. Para explicar mejor los ciclos de concentración se emplea el siguiente ejemplo:

Se tienen: 20 botellas de un galón.

Cada botella contiene: 175 ppm de TDS

Si 19 botellas se evaporan dejando el contenido de sólidos de 175 ppm, y si estos se ponen en la última botella de agua, la mezcla de las sales de las 19 botellas con la última botella de agua dará como resultado 20 ciclos de concentración. Esto teniendo en cuenta una caldera de baja presión donde la máxima cantidad recomendada de sólidos disueltos totales TDS es de 3500 ppm.

En calderas de mayores presiones de operación los límites de TDS disminuyen en relación a la presión de operación. El control de los cloruros se hace por medio de la concentración de sólidos totales. Para controlar los niveles máximos permisibles de TDS, el operador debe de abrir en forma periódica la válvula de purga de la caldera. La frecuencia es dependiendo la cantidad de TDS en el agua de reposición introducida.

#### 1.3.2 Alcalinidad

Adicionalmente al control de los ciclos de concentración de los TDS, la alcalinidad debe ser considerada con mucha precaución. Los niveles de alcalinidad cuando se tienen calderas de baja presión, no deben de exceder las 700 ppm. La presencia de alcalinidad por encima de los 700 ppm puede resultar en un rompimiento de los bicarbonatos produciendo carbonato y liberando CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) libre en el vapor. La presencia de CO<sub>2</sub> en el vapor generalmente da como resultado un vapor altamente corrosivo, causando daños por corrosión en las líneas de vapor y retorno de condensados. El nivel de alcalinidad generalmente controla el total de ciclos de concentración en la caldera. Si el agua de reposición contiene 70 ppm de alcalinidad total en una caldera que no deba de exceder en la concentración de 700 ppm se podrá operar a 10 ciclos de concentración (700 ppm/ 70 ppm = 10 ciclos).

Revisando el ejemplo previo, si se considera que ésta caldera no debe de exceder los 3500 ppm de TDS en el interior de la caldera, y si el agua de reposición tiene 175 ppm de TDS esto significa



que en base a TDS el agua puede operar a 20 ciclos de concentración (3500 ppm/175 ppm = 20 ciclos). Pero si los ciclos de concentración se basan en los TDS, la alcalinidad en el interior de la caldera alcanzará los 1400 ppm (70 ppm de alcalinidad x 20 ciclos = 1400 ppm), se excederá el límite de los 700. por lo tanto, la purga en la caldera en este ejemplo deberá de ser realizada en base a la alcalinidad y no en base a los TDS. La concentración permitida en el interior de la caldera de TDS al igual que de alcalinidad va disminuyendo a medida que la capacidad de las calderas de presión se va incrementando. Esto se puede observar en la siguiente tabla.

| TABLA V. B                        |               |                       |                       |                           |            |               |
|-----------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|------------|---------------|
| Calidad recomendada para Calderas |               |                       |                       |                           |            |               |
| Caldera de vapor                  | Presión (psi) | Sólidos Totales (ppm) | Alcalinidad Total ppm | Sólidos en suspensión ppm | Sílice ppm | Máximo Dureza |
| Menor                             | 300           | 3500                  | 700                   | 300                       | 125        | 20            |
| 301                               | 450           | 3000                  | 600                   | 250                       | 90         | 0             |
| 451                               | 600           | 2500                  | 500                   | 150                       | 50         | 0             |
| 601                               | 750           | 2000                  | 400                   | 100                       | 35         | 0             |
| 751                               | 900           | 1500                  | 300                   | 60                        | 20         | 0             |
| 901                               | 1000          | 1250                  | 250                   | 40                        | 8          | 0             |
| 1001                              | 1500          | 1000                  | 200                   | 20                        | 2.5        | 0             |
| 1501                              | 2000          | 750                   | 150                   | 10                        | 1.0        | 0             |
| 2001                              | 3000          | 500                   | 100                   | 5                         | 0.5        | 0             |

La alcalinidad (ppm de sólidos) se controla por medio de tratamiento interno, o sea, inyectando sosa cáustica (hidróxido de sodio NaOH), o bien soda-ash (carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

La alcalinidad se determina por titulación usando soluciones ácidas estándar, fenofaleína y anaranjado de metilo como indicadores. Los resultados de la titulación con anaranjado de metilo se expresan como "alcalinidad al anaranjado de metilo" y es común representarlo con una letra M. Los resultados de la titulación con fenofaleína se expresan como "alcalinidad de la fenofaleína" y es común representarlo con letra P. La alcalinidad total corresponde a la suma de M+P expresada como carbonato de calcio. La alcalinidad del agua es representativa de la concentración de iones hidratos (OH) y/o carbonatos  $\text{CO}_3$  y/o bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ).

| TABLA V. C                         |              |            |          |
|------------------------------------|--------------|------------|----------|
| Tabla para calcular la alcalinidad |              |            |          |
| CONDICIÓN                          | BICARBONATOS | CARBONATOS | HIDRATOS |
| P = 0                              | M            | Cero       | Cero     |
| P menor de $\frac{1}{2}$ de M      | M - 2P       | 2P         | Cero     |
| P igual a $\frac{1}{2}$ M          | Cero         | M          | Cero     |
| P igual a M                        | Cero         | Cero       | M        |
| P mayor de $\frac{1}{2}$ de M      | Cero         | 2(M - P)   | 2P - M   |

P = Alcalinidad a la fenofaleína

M = Alcalinidad al anaranjado de metilo

Ejemplo:

El análisis de agua de una caldera de un ingenio del centro del estado de Veracruz da los siguientes resultados:

Alcalinidad P = 300 ppm

Alcalinidad M = 500 ppm

$\frac{1}{2}$  de M =  $\frac{1}{2} \times 500 = 250$

De acuerdo con los datos anteriores y consultando la tabla, se tiene que como P es mayor que un medio de M, resulta lo siguiente:

Bicarbonatos = Cero





Carbonatos =  $2 (M-P) = 2(500 - 300) = 2 \times 200 = 400$  ppm

Hidratos =  $2P - M = 2 \times 300 - 500 = 100$  ppm

Tomando en cuenta los valores anteriores se decide:

- Consultar con el proveedor de productos químicos que cambios se deben hacer en la dosificación.
- Que el laboratorio haga las indicaciones pertinentes
- Que el jefe de planta, con la capacidad necesaria, resuelva qué debe hacerse.

### 1.3.3 Control de Dureza Total

La formación de incrustación en las superficies de la caldera es el problema más serio encontrado en la generación de vapor. La primera causa de la formación de incrustación, es debido al hecho de que la solubilidad de las sales decrece a medida que se incrementa la temperatura aumentando la facilidad de precipitación. Consecuentemente, la alta temperatura (y presión) en la operación de las calderas, provoca que las sales se vuelvan más insolubles y la precipitación o incrustación aparezcan. Esta incrustación puede ser prevenida mediante el empleo de un tratamiento externo. Para alcanzar un alto grado de eficiencia, se recomienda el control de la dureza antes de entrar a la caldera. La presencia de incrustación en la caldera es equivalente a extender una pequeña capa de aislamiento a lo largo y en toda el área de calentamiento, este material aislante térmico va a retardar y/o impedir la transferencia del calor, causando pérdidas de eficiencia en la caldera, por lo tanto, incrementa el consumo de energía.

La incrustación puede causar un sobrecalentamiento en el metal de los tubos de la caldera, generando fallas de rompimiento en los tubos. Este problema requiere una costosa reparación además de tener que sacar a la caldera del servicio. La cubierta de incrustación retarda el flujo de calor del horno hacia el agua para generar vapor, esta resistencia al calor resulta en un rápido incremento en la temperatura del metal al punto en donde se presenta la falla.

La siguiente es una tabla de valores para una caldera de tubos de humo, marca CLEAVER BROOKS, para una presión de 0- 300 psig.

| CONCEPTO                  | VALOR ACEPTABLE ppm | VALOR LÍMITE ppm |
|---------------------------|---------------------|------------------|
| Sólidos totales disueltos | 800                 | 2000             |
| Alcalinidad total         | 150                 | 700              |
| Dureza                    | 0                   | 0                |
| Sólidos en suspensión     | 30                  | 125              |
| Sílice                    | 80                  | 125              |
| Aceite, materia orgánica  | 2                   | 7                |
| Oxígeno                   | 10 – 20             | 70               |
| Bióxido de carbono        | 10 – 20             | 70               |

### 1.3.4 pH (Potencial de Hidrógeno)

El término conocido como pH (Potencial de Hidrógeno) corresponde al logaritmo inverso de la concentración de iones hidrógeno. La escala del pH varía de 0 a 14; esto resulta debido a lo siguiente:

La molécula de agua pura ( $H_2O$ ) contiene por separado al grupo hidrógeno ( $H^+$ ) y el grupo hidróxido ( $OH^-$ ). El producto de la concentración de iones  $H^+$  e iones  $OH^-$  a una temperatura de  $25^\circ C$  es  $1 \times 10^{-14}$ . Cuando la concentración de iones  $H^+$  decrece, la concentración de iones  $OH^-$  aumenta y viceversa pero siempre el producto de las concentraciones permanece en la relación  $1 \times$



$10^{-14}$ . Como el pH es una función logarítmica, se tiene por resultado el 0 como límite inferior y el 14 como límite superior de la escala.

Cuando la concentración de iones ( $H^+$ ) es igual a la concentración de iones ( $OH^-$ ) se tiene un pH neutral igual a 7. Una solución con un pH menor a 7 se le denomina solución ácida, una solución con un pH mayor a 7 se le denomina solución alcalina.

El pH permite saber si una sustancia es ácida, alcalina o neutra, éste será en cierto modo un medio para controlar también la alcalinidad, pero no será de gran importancia si ésta se esta controlando con un medio eficiente.

Los resultados que se reportan en un análisis de agua para caldera son empleados en partes por millón (ppm) o en granos por galón (gpg). Para convertir ppm a gpg se usa el siguiente valor de conversión:  $17.1 \text{ ppm} = 1 \text{ gpg}$ .

A parte de la dureza, la alcalinidad, los cloruros, el pH y los demás factores ya mencionados, existen los siguientes factores o herramientas para poder efectuar el control de los resultados del análisis del agua del interior de una caldera.

- Residual de fosfatos

Sirve para saber si su presencia en el agua del interior de una caldera se encuentra dentro de los rangos establecidos para que puedan evitar la formación de las incrustaciones a base de sales Ca y Mg.

- Residual de sulfitos

Sirve para saber si hay el suficiente sulfito para contrarrestar la acción del oxígeno presente en el agua del interior de una caldera.

**Tabla V. E: Parámetros y contaminantes habituales.**

| Parámetro   | Representación   | Problema típico que plantea   | Tratamientos correctores  |
|-------------|--|---|---|
| Turbidez    | NTU  | Ha ce que el agua se vea borrosa. Forma depósitos en tuberías, equipos de procesos y calderas.  | Coagulación, sedimentación y filtración.  |
| Color       | No tiene. Se expresa en un análisis de coloración en una escala arbitraria.                  | Puede causar espuma en las calderas. Obstaculiza los métodos de precipitación cuando se emplean métodos para remover el fierro y la suavización de fosfatos en caliente. Disminuye los efectos de los productos usados. | Coagulación y filtración, clorinación, absorción por medio de carbón activado.  |
| Dureza      | Sales de calcio y magnesio expresadas como $CaCO_3$ .  | Fuente principal de las incrustaciones en el equipo de transmisión del calor, calderas, tuberías, etc. Genera grumos cuando hay jabón, y posteriormente barros y lodos.   | Suavización, destilación, tratamiento interno del agua de la caldera. Agentes activos de superficie. Ablandamiento cal-sosa, ósmosis inversa.   |
| Alcalinidad | Bicarbonato ( $HCO_3$ ), carbonato ( $CO_3$ ) e hidrato, ( $OH$ ) expresados como $CaCO_3$ . | Espuma y arrastre de sólidos en el vapor. Fragilización del acero de las calderas. Con los bicarbonatos y carbonatos produce $CO_2$ en el vapor y es una fuente para la corrosión.                                      | Suavización con cal y cal sodada. Tratamiento ácido, suavización con zeolitas, desmineralización, dealcalinación por medio de aniones, destilación, neutralización con álcalis. Ósmosis inversa y electrodesionización. |



Tabla V. E: Parámetros y contaminantes habituales (continuación)

| Parámetro               | Representación  | Problema típico que plantea   | Tratamientos correctores   |
|-------------------------|---|---|--|
| Ácidos minerales libres | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl, expresados como CaCO <sub>3</sub> . | Corrosión   | Aereación, deaereación, neutralización con álcalis.  |
| Bióxido de carbono      | CO <sub>2</sub>   | Corrosión en las líneas de agua y particularmente en las líneas de vapor y condensados.   | Aminas filmicas y neutralizantes.  |
| Hierro                  | Fe <sup>2+</sup> (Ferroso)<br>Fe <sup>3+</sup> (Férrico)                  | Colorea el agua al precipitarse y es fuente de precipitados y lodos en las líneas de agua y de vapor. Produce incrustaciones en las líneas de agua, caldera, etc. Interfiere con los colorantes, etc. | Aereación, coagulación y filtración. Suavización con cal. Intercambio catiónico. Filtración por contacto. Superficies activadas con agentes para retener hierro. |
| Manganeso               | Mn <sup>2+</sup>  | Idem  | Idem   |
| Grasa y aceites         | Expresado como aceite o materia insoluble de cloroformo                   | Incrustación, lodos y espumeo en las calderas. Dificulta la transmisión de calor. Indeseable en la mayoría de los procesos.   | Mamparas desviadoras. Coladores, coagulación y filtración con tierra diatomácea. Separadores de grasa  |
| Oxígeno                 | O <sub>2</sub>  | Corrosión en las líneas de agua, equipo de transmisión de calor, calderas, líneas de condensados, etcétera.   | Deaereación, sulfito de sodio, inhibidores de corrosión.   |
| Sulfato de hidrógeno    | H <sub>2</sub> S  | Causa el olor a "huevo podrido", corrosión.   | Aereación, clorinación, alto intercambio básico de aniones. Intercambio catiónico con zeolitas hidrogenadas.   |
| Amoniaco                | NH <sub>3</sub>   | Corrosión de las aleaciones de cobre y zinc por la formación de un compuesto de ión soluble.  | Clorinación, deaereación.  |
| Conductividad           | Expresado como mS (micromhos)   | Es el resultado de sólidos ionizables en solución. Una alta conductividad puede aumentar las características corrosivas del agua.   | Cualquier proceso que disminuya los sólidos disueltos bajo la conductividad, como por ejemplo: desmineralización, suavización con cal.                           |
| pH                      | [H <sup>+</sup> ].  | Disolución y precipitación de metales   | Neutralización con ácidos y bases.   |
| Sulfatos                | (SO <sub>4</sub> )  | Aumenta los sólidos contenidos en el agua, pero por si solo no es usualmente significativo. Combina con el calcio para formar incrustaciones de sulfato de calcio.                                    | Desmineralización, destilación.  |
| Cloruros                | Cl <sup>-</sup>   | Aumenta los sólidos totales, así como el carácter corrosivo del agua.   | Desmineralización, destilación.  |



Tabla V. E: Parámetros y contaminantes habituales (continuación)

| Parámetro             | Representación     | Problema típico que plantea  | Tratamientos correctores   |
|-----------------------|--------------------|--|--|
| Nitratos              | (NO <sub>3</sub> ) | Aumenta los sólidos contenidos pero no es significativo industrialmente. Altas concentraciones causa metamoglobinemia en los niños. Útil para el control de la Fragilización del metal de la caldera.                      | Desmineralización, destilación.  |
| Fluoruros             | F                  | Causa la mancha de los dientes. También se usa para el control de las caries. No es significativo industrialmente.   | Absorción con hidróxido de magnesio, fosfato de calcio o negro animal.<br>Coagulación con alambre.   |
| Sílice                | SiO <sub>2</sub>   | Incrustaciones en las calderas y en los sistemas de agua de enfriamiento. Depósitos insolubles en alabes de turbinas debido a la vaporización del sílice.  | Remoción por medio de procesos en caliente con sales de magnesio.<br>Absorción por alto Intercambio básico de aniones con resinas unidas a una desmineralización, destilación.   |
| Sólidos disueltos     | Ninguna            | "Sólido disuelto" es la cantidad total de materia disuelta. Las altas concentraciones de sólidos son inconvenientes porque provocan interferencia al causar el "espumeo" en las calderas.                                  | Cualquiera de los varios procesos de suavización como por ejemplo:<br>suavización con cal e intercambio de cationes con zeolitas de hidrógeno, disminución de los sólidos disueltos.<br>Desmineralización.<br>Destilación. |
| Sólidos en suspensión | Ninguna            | "Sólidos en suspensión" es la cantidad de materia insoluble que se determina gravimétricamente. Los sólidos en suspensión tapan las tuberías, causan depósitos en las superficies de los calentadores, calderas, etcétera. | A asentamiento. Filtración, usualmente precedida por coagulación y sedimentación.  |
| Sólidos Totales       | Ninguna            | "Sólidos totales" es la suma de sólidos en suspensión más sólidos disueltos, determinados gravimétricamente.   | Véase "sólidos disueltos" y "Sólidos en Suspensión".   |

#### 1.4 Problemas en las calderas

##### 1.4.1 Incrustación

El agua contiene sustancias disueltas y en suspensión, al fluir dentro de la caldera continuamente y a medida que el vapor se va generando, prácticamente puro, va dejándolos en ella.

Al calentarse el agua hasta que se vaporiza bajo la presión de trabajo, se separan primero el oxígeno y el anhídrido carbónico, luego se depositan las impurezas y finalmente las sustancias difícilmente solubles quedan en forma de "incrustaciones". Las sales fácilmente solubles siguen



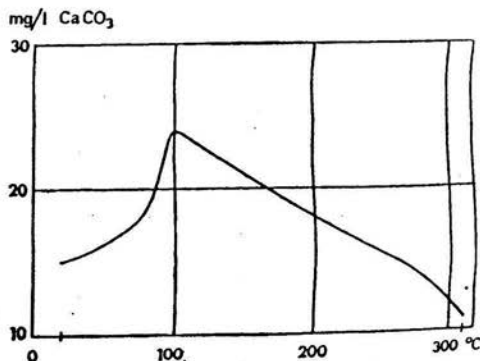
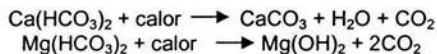
disueltas y no causan daños pero sí pueden aumentar el punto de ebullición del agua si la solución es muy concentrada.

El efecto de la incrustación en un generador de vapor de los clasificados, como de tubos de humo, se resiente en los tubos o fluxes, toda vez que la incrustación trabaja como aislante térmico entre el agua y el acero de los fluxes. En tales condiciones, al pasar los gases calientes por el interior de los fluxes, el agua no puede absorber debidamente el calor, dado que se interpone la incrustación y consecuentemente el material del tubo o flux se recalienta anormalmente presentándose la dilatación del flux con las siguientes fugas de agua.

Ahora bien, la incrustación proviene al decrecer la solubilidad de algunas sales, principalmente de calcio y magnesio, con los incrementos de temperatura dentro de la caldera.

La acumulación de sales en una caldera se debe a la concentración por evaporación de la misma. Cuando la acumulación de estas sales llega a un punto donde se sobrepasa el nivel de solubilidad, se produce la precipitación que causa las incrustaciones. El caso de sulfato de calcio, que es muy poco soluble a altas temperaturas, es típico y produce la formación de capas incrustantes dentro de las calderas bastante difíciles de remover, dificultando además en formas muy marcadas la transmisión de calor, que se refleja en sobrecalentamientos en las partes metálicas. Menos solubles aún son carbonato de calcio y silicato de calcio, los que se depositan en forma de incrustación con los mismos resultados.

Al aumentar la temperatura del agua dentro de la caldera se efectúa una descomposición de los bicarbonatos, los cuales en presencia de calcio y magnesio dan lugar a las siguientes reacciones químicas.



**Gráfica V.A. Solubilidad del carbonato cálcico en el agua en función de la temperatura**

El bicarbonato de calcio, en sí bastante soluble se convierte en carbonato de calcio con una solubilidad muy baja, provocando incrustaciones y lodos muy poco deseables dentro de la caldera. Cuando este componente se deposita en forma de incrustación en una caldera, puede haber graves problemas en la operación. Si estas incrustaciones se desprenden bruscamente durante su funcionamiento, pueden provocar recalentamientos localizados, mucho muy peligrosos en las zonas que se adhieran nuevamente.



#### 1.4.2 Espumeo y arrastre

El espumeo se refiere a la condición en la operación de una caldera en la que una espuma estable es producida. Puede o no ser acompañada por el arrastre de agua. El vapor húmedo indica una operación defectuosa en una caldera. Los arrastres de agua pueden ser muy destructivos para tubería, motores o máquinas. El arrastre puede ser producido por otras causas antes del espumeo, como por ejemplo, llevar un nivel de agua muy alto, un área de salida muy reducido, o una demanda de vapor irregular que sobrecarga a la capacidad de purgas de la caldera.

La causa del espumeo es la condición del agua misma de la caldera. Una muy alta concentración de sales disueltas es una frecuente causa de espumeo. El espumeo también resulta de la saponificación del agua de la caldera a través de una mezcla de aceite o grasa con los álcalis. La materia orgánica que flota dentro de la caldera es otra fuente de espuma. Cuando el espumeo se debe a la concentración de sales en el agua, puede ser corregida alterando el tratamiento de la misma o purgando más esta agua con altas concentraciones. Normalmente una caldera de vapor sin accesorios internos en los domos producirá de 0.05 a 1.5 % de humedad en el vapor. Partes internas defectuosas de la caldera puede ser la causa de un vapor exageradamente húmedo, así como del espumeo y del arrastre. Cualquiera que sea la causa, el resultado es el acarreo o sea la presencia de pequeñas gotitas de agua que arrastran impurezas en el flujo de vapor.

El espumeo es la fuente más común de arrastre de sólidos en calderas equipadas con accesorios internos en los domos. Algunas pruebas han revelado espesores hasta de 12" de espuma arriba del nivel normal de agua.

| <b>Condiciones mecánicas</b>             | <b>Condiciones del agua</b>    | <b>Condiciones de operación</b>   |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|
| Diseño de la caldera                     | Origen y reposición            | Capacidad                         |
| Tamaño de los domos                      | Concentración                  | Cambios en capacidad              |
| Número de los domos                      | Alcalinidad                    | Presión                           |
| Accesorios de los domos                  | Materia orgánica               | Nivel de agua                     |
| Circulación                              | Materia en suspensión          | Cambios en el nivel               |
| Superficie de calefacción radiante       | Tratamiento químico            | Sólido de las purgas              |
| Superficie de calefacción por convección | Capacidad de espumeo inherente | Válvulas de seguridad defectuosas |

#### 1.4.3 Corrosión

Los llamados gases no condensables son gases que no condensan a la temperatura normal encontrada en el agua cruda, son agentes corrosivos que invariablemente son arrastrados por el agua. El más objetable y peligroso de los gases es el oxígeno disuelto en el agua y en segundo lugar el bióxido de carbono.

Las consecuencias de oxígeno disuelto en una caldera es que ataca al fierro formando hidróxido férrico. Esta corrosión se presenta como ámpulas en el material y dependiendo del tiempo que el oxígeno ataca al material, puede llegar a perforarlo.

El bióxido de carbono de carbono corroe el material y muy especialmente en presencia de oxígeno disuelto. El CO<sub>2</sub> o bióxido de carbono combinado con el agua, forma ácido carbónico, el cual es un agente de corrosión bajo ciertas condiciones para metales féreos, aleaciones de níquel y aleaciones de cobre, ocasionalmente se presenta otro gas no condensable en el agua, llamado hidróxido de aminorio o álcali, el cual si bien no corroe las partes metálicas de la caldera, si ataca las aleaciones de cobre comúnmente empleadas en válvulas, tubos y otras conexiones.

Con cierta frecuencia, llega a presentarse corrosión en las líneas de retorno de condensados, debido a la presencia de oxígeno y CO<sub>2</sub>.



El primero se encuentra disuelto en el agua, pero también puede ser absorbido del aire con el cual entra en contacto el agua. El bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), se debe principalmente a la descomposición de los bicarbonatos del agua a carbonatos, al elevarse la temperatura.

### 1.4.4 Fragilización cáustica

Si el metal de la caldera se somete a un esfuerzo más allá del límite elástico, y se pone en contacto con soluciones cáusticas calientes y de alta concentración se puede desarrollar una falla intercrystalina comúnmente llamada "Fragilidad Cáustica". Las dos causas que la originan son:

- Metal sometido a un esfuerzo más allá de su límite elástico
- La concentración de la solución cáustica que exceda de un 10%

La Fragilización cáustica es una de las situaciones más peligrosas en una caldera, dado que no es detectable ni se presenta en ninguna forma aparente.

El hidróxido de sodio ataca la estructura intercrystalina del acero a tal grado que sin previo aviso por efecto de la presión interna dentro de la caldera se presentan serias explosiones. Intervienen dos factores: mecánico y químico.

Los mecánicos tales como las fugas y las tensiones externas se pueden evitar en las calderas por medio de una correcta fabricación de las mismas. El factor químico puede sobreponerse evitando alcalinidades altas en las salinas de la caldera o por el uso de inhibidores. Se pueden utilizar inhibidores orgánicos como inorgánicos.

## 2. TRATAMIENTOS EXTERNOS

Se llama agua de alimentación a la que se proporciona a una caldera para reponer lo que se ha extraído de ella en forma de vapor o descargas. Desgraciadamente el agua pura difícilmente se encuentra en la naturaleza y sus impurezas son muy variadas.

El agua de lluvia es la más pura, pero siempre contiene oxígeno disuelto y dióxido de carbono que toma del aire, haciéndose corrosiva.

Las aguas subterráneas casi siempre recogen impurezas como dureza disuelta al filtrarse a través de los estratos rocosos que contienen calcio y magnesio, pero generalmente es clara y libre de materia en suspensión. Este tipo de agua requiere suavización y muy rara vez filtración, ya que sufren un filtrado natural al pasar a través de la roca o arena.

Las aguas superficiales de ríos contienen materias orgánicas y a menudo sólidos en suspensión tales como arena y fango. Frecuentemente se encuentran contaminadas con desperdicios industriales y aguas negras. La característica de las aguas superficiales estancadas es la de contener sedimentos y sólidos en suspensión. Estas aguas requieren filtración para eliminar los sólidos en suspensión y también suavización o remoción de sólidos disueltos.

Las aguas de servicio municipal no son apropiadas, en su condición normal, para alimentación de calderas. Es suficiente para satisfacer los usos domésticos con sedimentar, filtrar y clorinar el agua, pero las condiciones que debe llenar la de alimentación a calderas, difiere de aquella y generalmente es necesario someterla a otro tratamiento posterior.

De manera más particular, el agua de una caldera debe tratarse para:

### a) Eliminar la turbidez

La acumulación de minerales insolubles finamente divididos o partículas orgánicas, que reducen la claridad del agua, es lo que se llama turbidez. Si se dejan formarán un lodo pegajoso y aislante en los domos o envolvente y también pueden producir un arrastre.



b) Eliminar las incrustaciones

Las cuales causan pérdidas de calor, dañan la tubería y las superficies de calefacción. Las incrustaciones forman un aislamiento entre los gases y el agua, por lo que hay que mantener temperaturas más altas para tener la misma generación; con lo que el metal de los tubos se sobrecalienta y falla.

c) Evitar el arrastre

El cual produce incrustaciones en los sobrecalentadores, turbinas o el equipo que requiera vapor. La concentración muy alta de sales en suspensión y disueltas en el domo produce un vapor húmedo.

d) Eliminar gases

La presencia de oxígeno en el agua de alimentación corroe el metal de las calderas. El dióxido de carbono torna el agua ligeramente ácida por lo que acelera dicha corrosión.

e) Evitar que el metal de la caldera se vuelva quebradizo

Una alta alcalinidad en el agua de una caldera puede ser la causa de que el metal de la caldera se vuelva quebradizo, agrietándose alrededor de los remaches de las juntas remachadas y en las extremidades de los tubos donde éstos se fijan a los espejos o domos.

f) Eliminar los sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión que causen la turbidez pueden eliminarse por coagulación y filtración.

El tratamiento del agua de alimentación a la caldera se puede dividir en dos grandes grupos. Dependiendo de la calidad del agua de alimentación será necesario aplicar uno o varios de los procesos que a continuación se detallan.

Se incluyen dentro de los **tratamientos externos** todos aquellos que convencionalmente pueden ser aplicados al agua cruda de alimentación de las calderas. La finalidad de los mismos será reducir las impurezas que originen incrustaciones en los equipos e instalaciones. Los métodos de tratamiento externo pueden implicar una o varias actuaciones individuales, combinadas o secuenciales, seleccionándose en cualquier caso la alternativa que resulte más económica. Por lo tanto, tendrá que realizarse un análisis económico que al menos contabilizará la concentración máxima de sustancias disueltas que pueden ser admitidas como aceptables para el agua de alimentación a la instalación, las pérdidas de calor debidas a las purgas, la recuperación y retorno de condensados, la disminución de la eficiencia energética debida a las incrustaciones, el tipo de caldera, las paradas por mantenimiento y la sustitución de materiales por corrosión.

Los principales tratamientos externos son, los que a continuación se mencionan.

### 2.1 Clarificación

Generalmente, con la finalidad de eliminar el color y las partículas suspendidas presentes en el agua bruta de alimentación, el primer tratamiento externo que suele diseñarse es la clarificación. El proceso de clarificación es función de la naturaleza y concentración de sustancias a eliminar, y puede realizarse por tratamiento físico y/o químico.

Es habitual que las partículas suspendidas en el agua de alimentación, bien por ser de muy pequeño tamaño o por presentar carga eléctrica negativa, tiendan a permanecer dispersas, por lo que para posibilitar su eliminación mediante la operación básica de sedimentación pudiera requerirse su previa neutralización. Para poder realizar este proceso se suelen utilizar coagulantes y floculantes, de tal modo que, bien por una neutralización química, o bien mediante un proceso físico-químico de adsorción, las partículas pueden ser aglomeradas, de tal modo que, al eliminar su acción eléctrica de repulsión y aumentar su tamaño, se posibilitará más eficazmente su sedimentación.





La adición de coagulantes al agua cumple dos funciones: acelera el asentamiento de materia en suspensión y permite velocidades de filtración más altas no obtenibles con éxito por otros métodos. Normalmente, para realizar la coagulación y floculación se utilizan sales de hierro y de aluminio, así como polielectrolitos. Los coagulantes más comúnmente usados son: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, aluminato de sodio, alumbre de potasio o amonio.

La efectividad de la coagulación y la velocidad de formación de flóculos están influidos grandemente por la temperatura del agua. Conforme disminuye la temperatura del agua, debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular con objeto de asegurar la formación de flóculos adecuados.

Otro de los requisitos importantes para una buena coagulación y asentamiento de sólidos suspendidos, es la mezcla rápida y completa de los productos químicos y el agua, seguida de floculación lenta. Tal tratamiento es necesario para asegurar una incorporación completa de los productos químicos. Después de efectuada la mezcla, los coágulos finamente divididos deberán dejarse desarrollar para formar partículas grandes que aseguren máximas velocidades de asentamiento.

El agua obtenida como sobreflujo o líquido claro de la sedimentación puede tener aún pequeñas y en todo caso variables cantidades de sustancias suspendidas, que se eliminan por filtración.

### 2.2 Filtración

Se da este nombre al paso del agua a través de material filtrante contenido en tanques, el cual retiene las partículas sólidas que se encuentran en suspensión.

La filtración suele realizarse en filtros de presión y en filtros gravitatorios. Generalmente es suficiente con utilizar los sistemas más simples y económicos, bien en forma individual, bien consecutivamente. Así, los filtros de cartucho, que son económicos, duraderos y fácilmente reemplazables, posibilitan eliminar partículas suspendidas de aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  y mayores, mientras que los filtros de lecho, normalmente con varias capas de arena y antracita de diferentes tamaños de partículas en función de la porosidad que se desee para el lecho, facultan no sólo la eliminación de los materiales suspendidos, sino además la reducción del color.

Por otra parte, cuando el agua que va a ser tratada presente baja concentración en sólidos suspendidos, en ocasiones es práctico no verificar las etapas de floculación y sedimentación. Al proceder de este modo se deberá tener presente que los ciclos de filtración serán inevitablemente más cortos cuando sea utilizado el modo discontinuo de filtración.

### 2.3 Sedimentación

Consiste en la precipitación de la mayor parte de los sólidos que trae el agua en suspensión. La operación tiene lugar en grandes tanques de sedimentación, en los que circula el agua a una velocidad determinada, para que haya tiempo de que la mayor parte de las partículas sólidas se precipiten al fondo cuando una masa de agua ha corrido la longitud del tanque.

Como el propósito de los tanques de sedimentación es remover la materia suspendida, la forma lógica de expresar su eficiencia es por el porcentaje de remoción de tales sólidos. La determinación normal de Sólidos Suspendidos (SS) del agua residual y la escala normal de remoción de SS del agua residual por sedimentación es de 50 a 60%.

### 2.4 Suavización

Cuando existen sales de calcio y/o magnesio disueltas en el agua se dice que el agua tiene dureza o comúnmente se le denomina "agua dura". El proceso mediante el cual se lleva a cabo la eliminación o reducción de esta dureza se llama suavización.

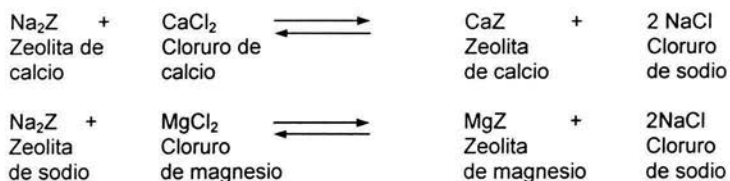
Existe un proceso frecuentemente usado para la suavización del agua de alimentación a calderas que es por intercambio iónico ciclo sódico, el cual es utilizado, debido a sus facultades y bajo costo



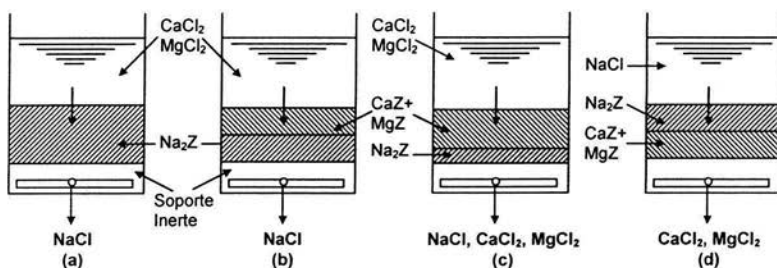
de operación, más conocido como ablandamiento con zeolita de sodio. Su desventaja es que no reduce la alcalinidad ni los sólidos flotantes.

- Suavización mediante zeolita de sodio.

El proceso básico. La suavización con zeolita consiste en pasar el agua a través de un lecho de material que posee la propiedad de remover el calcio y magnesio del agua y de reemplazar estos iones con sodio o potasio. El intercambio tiene lugar rápidamente, de tal manera que el agua cruda, a su paso por el lecho de zeolita, puede ser ablandada casi completamente, independientemente de las variaciones en dureza. El calcio y magnesio serán removidos de cualquiera de sus sales en solución, como bicarbonatos, sulfatos, cloruros, etc. Considerando solamente los cloruros como ejemplo, a fin de simplificar las reacciones de suavización son:



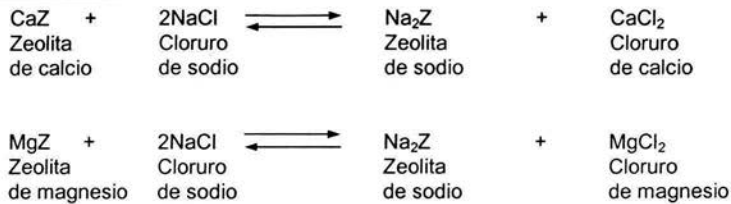
La siguiente figura muestra en forma de diagramas los cambios en el lecho de zeolita conforme progresa el ablandamiento.



En (a) los cloruros de calcio y magnesio pasan a través de la superficie de un lecho fresco de zeolita de sodio e inmediatamente son convertidas a cloruro de sodio, cambiando la capa superficial del lecho a zeolita de calcio y magnesio. En (b) la mitad del lecho ha sido cambiada en esta forma o "agotada". El material de zeolita continuará ablandando agua en esta forma hasta que un alto porcentaje de los iones de sodio la reacción ha sido intercambiado. Sin embargo, en (c) la capa de zeolita de sodio ha llegado a ser tan delgada, que algo de las sales de calcio y magnesio pasa a través de ella sin haber intercambio, apareciendo dureza en el efluente. Después de este punto "de fuga" la dureza aumenta rápidamente.

Cuando se ha agotado el valor de intercambio en operación, el suavizador debe regenerarse; esto es, deben ser reemplazados los iones de sodio removidos durante el proceso de ablandamiento. La regeneración se efectúa tratando el lecho con una solución saturada de cloruro de sodio (sal común). Entonces, tiene lugar la reacción química inversa, y el calcio y magnesio extraídos del agua, y fijados en los granos del material cambiador de iones son liberados y pasan a la solución de salmuera. En esta forma, son removidos de la zeolita y arrastrados al drenaje. Los iones de sodio son captados por la zeolita, y la unidad nuevamente está lista para ablandar agua.

Las reacciones químicas que ocurren durante la regeneración pueden expresarse en la siguiente forma:



El proceso de regeneración se ilustra esquemáticamente en (d) de la figura anterior. En realidad, la zeolita no se regenera 100 por ciento, quedando combinados en los gránulos, trazas de calcio y magnesio.

Consumo de sal:

En números cerrados, la cantidad teórica requerida es 0.17 lb de sal por kilogramo de dureza removida. Sin embargo, es necesario usar un exceso de sal para poder efectuar la regeneración. Con las primeras zeolitas comerciales, la cantidad de sal requerida fue de 1 lb/kg. Después, cuando usó el "greensand" (glauconita) se encontró que era suficiente, 0.5 de sal por kilogramo, en la actualidad el consumo de sal para ablandadores de tipo industrial es de 0.4 lb/kg.

**Tabla V. G**  
**Intercambiadores catiónicos ciclo sódico; datos típicos**

| Intercambiadores Catiónicos sódicos   | Tamaño (malla) | Peso (lb/pie <sup>3</sup> ) | Color                    | Consumo de sal |                     | Capacidades (Kg/pie <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|---------------------|------------------------------------|
|                                       |                |                             |                          | Lb/kg          | Lb/pie <sup>3</sup> |                                    |
| Resina de poliestireno alta capacidad | 16-50          | 53                          | ámbar                    | 0.5            | 13.5                | 27                                 |
|                                       |                |                             |                          | 0.45           | 11.7                | 26                                 |
|                                       |                |                             |                          | 0.40           | 10.0                | 25                                 |
|                                       |                |                             |                          | 0.35           | 8.4                 | 24                                 |
|                                       |                |                             |                          | 0.30           | 6.6                 | 22                                 |
|                                       |                |                             |                          | 0.275          | 5.5                 | 20                                 |
| Carbonaceas                           | 16-50          | 24-50                       | negro                    | 0.45           | 3.15                | 7.0                                |
|                                       |                |                             |                          | 0.40           | 2.68                | 6.7                                |
|                                       |                |                             |                          | 0.375          | 2.37                | 6.3                                |
|                                       |                |                             |                          | 0.35           | 2.10                | 6.0                                |
| Zeolitas sintéticas (tipo gelatinoso) | 16-50          | 54                          | Blanco o blanco-amarillo | 0.5            | 5.0                 | 10                                 |
|                                       |                |                             |                          | 0.45           | 4.05                | 9                                  |
|                                       |                |                             |                          | 0.4            | 3.2                 | 8                                  |
| Greensand , alta capacidad            | 16-50          | 80                          | Negro                    | 0.5            | 2.75                | 5.5                                |
|                                       |                |                             |                          | 0.45           | 2.25                | 5.0                                |
|                                       |                |                             |                          | 0.4            | 1.76                | 4.4                                |
| Geensand estándar                     | 16-50          | 85                          | Verde                    | 0.5            | 1.5                 | 3.0                                |
|                                       |                |                             |                          | 0.45           | 1.26                | 2.8                                |
|                                       |                |                             |                          | 0.4            | 0.96                | 2.4                                |

La capacidad de intercambio de las zeolitas silicosas y de otros cambiadores catiónicos, se expresa comúnmente en términos de kilogramos de dureza (un kilogramo (kgr) = 1,000 granos; 7,000 granos = 1 lb) removida por pie<sup>3</sup> de material ablandador. Los valores de intercambio varían con el tipo de cambiador, la cantidad de regenerante usado, la dureza total, la concentración de sal de sodio y otros factores. Al diseñar ablandadores, se calcula la dureza verdadera o compensada, para tomar en consideración la dureza excesiva y el sodio presente en el agua. Cuando se tratan aguas que contienen más de 100 ppm de iones de sodio y más de 400 ppm de dureza, puede calcularse la dureza compensada por la siguiente fórmula.

$$H_c = H_a \times \frac{9,000}{9,000 - \text{cationes totales}}$$



en la que Hc es la dureza compensada, Ha la dureza real debida al calcio y magnesio, todas expresadas como carbonato de calcio.

## 2.5 Desaereación

Puede ser necesario realizar un tratamiento externo con la finalidad de prevenir la corrosión en los circuitos de agua y de vapor, para lo que será imprescindible eliminar totalmente tanto el oxígeno como el dióxido de carbono presente en el agua cruda y de retorno de condensados.

La Desaereación es empleada para eliminar o reducir los gases incondensables disueltos en el agua. El fenómeno físico que se presenta en la Desaereación es como sigue :

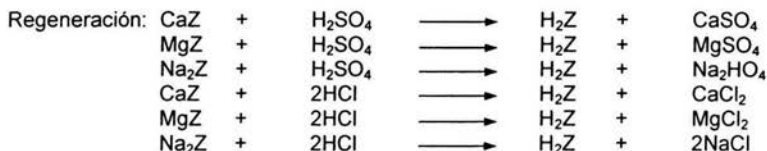
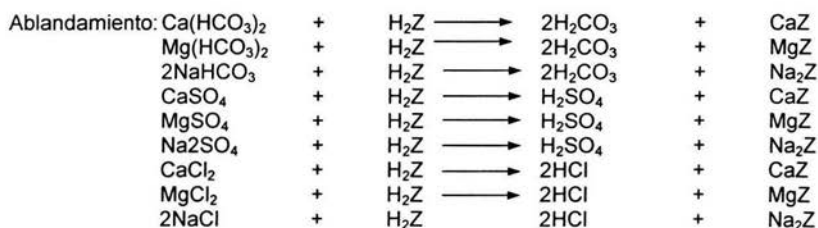
- A alta temperatura la solubilidad de los gases en el agua es muy reducida por ejemplo en el aire y a presión atmosférica, un agua de 26.6 °C, puede contener 8 veces más oxígeno que a 200 °F (93.33 °C), la desaereación es realizada normalmente a temperatura elevada combinando el proceso con agua de alimentación precalentada.
- La solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión absoluta del gas en el líquido. Por ejemplo el aire en el agua a 80°F, contiene 5.5 veces más oxígeno cuando la presión es de 25 lb/pulg<sup>2</sup> absolutas, que cuando está a 5 lb/pulg<sup>2</sup> absolutas. Para tomar ventaja de éste fenómeno, el agua que ha de tratarse será rodeada por una atmósfera de vapor con lo cual se reducirá parcialmente la presión de los gases a un bajo valor.
- Para que los gases en el agua sean eliminados fácil y rápidamente el agua deberá ser atomizada, en estas condiciones los gases escapan hacia la atmósfera.

## 2.6 Dealkalinización

Proceso de intercambio iónico ciclo hidrógeno.

El ablandamiento de agua por intercambio catiónico en el ciclo de sodio, no reduce los sólidos totales disueltos. Los aniones, o sea, los sulfatos, cloruros, nitratos y bicarbonatos, pasan a través de la unidad sin alterarse y permanecen en el agua tratada combinados con sodio. Sin embargo, la remoción de sodio ha sido posible mediante la operación de los lechos de zeolita en un ciclo de hidrógeno, en lugar de en un ciclo de sodio. Para llevar a cabo esto, el material se regenera con el ácido mineral, en lugar de cloruro de sodio. Los ácidos más comúnmente usados son el sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y el clorhídrico (HCl). Su selección depende de consideraciones económicas.

Las reacciones químicas que ocurren durante la operación y regeneración de los cambiadores catiónicos, son las siguientes, estando expresada la zeolita de hidrógeno como H<sub>2</sub>Z:



De las reacciones anteriores, podrá verse que los iones de bicarbonatos, cloruros, y sulfatos en el agua sin tratar, se combinan con iones de hidrógeno, mientras que el calcio, magnesio y sodio permanecen en el lecho combinados con el material de intercambio iónico. El agua tratada



contiene los ácidos correspondientes, que son, ácido carbónico,  $H_2CO_3$ , ácido clorhídrico, HCl, ó ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , como no se puede tolerar la presencia de ácido mineral en el agua para alimentación a calderas, el ácido debe ser neutralizado.

La ventaja de este proceso con el de ciclo sódico es que reduce la alcalinidad al nivel deseado y reduce el contenido de sólidos en una cantidad igual a la reducción en alcalinidad, además de eliminar completamente la dureza. Su desventaja es el alto costo de operación principalmente en lo referente a la regeneración ya que la sal común es más barata y fácil de manejar que los ácidos minerales. Su uso se concreta a la reducción de la alcalinidad en aguas de alimentación a calderas.

### 2.7 Desmineralización

Uno de los dos procesos para remover prácticamente toda la materia mineral del agua, es la desmineralización por intercambio iónico.

Los procesos de desmineralización por intercambio iónico, se usan ampliamente en el tratamiento del agua para calderas de alta presión, para eliminar sílice. Se pueden emplear varios arreglos del equipo necesario de acuerdo con:

- Composición del agua por tratarse
- Grado de tratamiento y cantidad de sílice eliminada,
- Costo de inversión y operación.

Considerando primero un sistema de desmineralización y eliminación de sílice en dos etapas, el primer paso sería pasar el agua a través de un intercambiador catiónico en ciclo hidrógeno, y el segundo pasar este efluente a través de un intercambiador aniónico altamente básico. En el primer paso, los cationes de hidrógeno serían intercambiados por los cationes calcio, magnesio, sodio, etc., que serían tomados por el intercambiador catiónico. Esto daría como resultado la formación de ácidos minerales fuertemente ionizados, tales como sulfúrico, clorhídrico, y/o ácidos nítricos, y ácidos muy poco ionizados tales como el carbónico y silícico.

En el segundo paso, tanto los ácidos fuertemente ionizados como los débiles que se formaron en el primer paso, serían tomados por el intercambiador aniónico, el que daría en intercambio una cantidad equivalente de iones de hidroxilo que se unirán.

Por lo tanto, el equipo que se usa puede ser una unidad (o batería de unidades) de intercambio catiónico en ciclo hidrógeno, y una unidad (o batería de unidades) de intercambio aniónico fuertemente básico, con sus respectivos tanques regenerantes.

La regeneración una vez agotadas las resinas se hará con ácido sulfúrico para el caso del intercambiador catiónico en ciclo hidrógeno o bien con ácido clorhídrico.

Para el intercambiador aniónico fuertemente básico la regeneración se llevaría a efecto con hidróxido de sodio (NaOH).

Si se cuenta con un intercambiador aniónico debidamente básico la regeneración se lleva a efecto con bicarbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ).

### 2.8 Proceso de cal sodada en frío

Este proceso tiene como principal ventaja reducir la dureza a cantidades relativamente pequeñas (17 ppm); reduce el contenido de sólidos totales y alcalinidad a una cantidad cercanamente equivalente a la dureza de carbonato eliminada; aumenta el valor del pH; reduce la sílice cuando se emplea magnesio o cal dolomítica; y opera con agua fría.

El tratamiento de cal sodada en frío varía de acuerdo con la composición del agua cruda y los requerimientos finales. Puede darse el caso de la remoción o reducción de otras sustancias



minerales a demás de la dureza y/o a la alcalinidad tales como hierro, manganeso, fluoruros y sílice entre otros, para lo cual será necesario el uso de sustancias químicas específicas para cada caso. Sustancias químicas usadas: la cal añadida puede ser cal viva, cal hidratada o para ciertos usos especiales como la eliminación de sílice, dolomita o cal dolomítica hidratada.

Cal viva.- la adición de cal viva (CaO) es mucho mas barata en base a equivalentes que el hidróxido de calcio o cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$ . Sin embargo la cal viva requiere mayor cuidado en su almacenaje y manejo y debe ser apagada a  $\text{Ca(OH)}_2$  con cantidades limitadas de agua antes de alimentarse.



La cal viva también se conoce como sal quemada. Un promedio de pureza aceptable es de 90% de CaO.

Cal hidratada.- es más fácil su manejo que la cal viva, puede almacenarse en depósitos de madera y no requiere hidratarse antes de usarse. La pureza promedio de esta cal es de 93% de  $\text{Ca(OH)}_2$ . Cal dolomítica y cal dolomítica hidratada. Estos reactivos varían algo en las cantidades de magnesio. Para la eliminación de sílice, la cal dolomítica deberá ser de 58% de CaO y 40% de MgO; la cal dolomítica hidratada deberá tener 62% de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 32% de MgO.

Soda ash.- el grado comercial usado es la soda ash ligera con 58% de  $\text{Na}_2\text{O}$  que es equivalente a 99.2% de Carbonato de sodio.

Coagulantes. El coagulante más usado es el sulfato de aluminio. Otros coagulantes comunes son el sulfato férrico y sulfato ferroso.

Tipos de ablandadores para el proceso de cal sodada en frío.

Hay cuatro tipos básicos (1)lecho suspendido, (2) tipo convencional, (3) tipo catalítico, (4) intermitente.

Los tres primeros son del tipo continuo; esto es, el agua se trata de acuerdo como pasa con el equipo. En el cuarto tipo, el agua se trata intermitentemente una vez separada. De estos el de lecho suspendido, debido a su alta eficiencia, menores tiempos de retención y menor espacio requerido es el más usado.

### 2.9 Procesos de cal sodada en caliente

Los procesos de cal sodada en caliente pueden clasificarse en tres divisiones principales:

- Proceso de cal sodada en caliente
- Proceso en dos pasos, cal sodada en caliente
- Proceso en dos pasos, cal en caliente e intercambio catiónico ciclo sódico.

Además las eliminaciones de sílice pueden añadirse a cualquiera de estos procesos. Las reacciones químicas en el proceso en caliente se efectúan cientos de veces más rápidos que en el proceso cal sodada en frío. También los precipitados son más pesados y mayores, puesto que el agua caliente es menos viscosa, el asentamiento toma lugar más rápidamente y no se hace necesario el uso de coagulantes.

El proceso de **cal sodada en caliente** es un proceso continuo en el cual el agua:

- se calienta
- se trata con una cantidad dada de productos químicos
- se asienta
- se filtra.



Las sustancias químicas usadas son soda ash y cal hidratada. Cuando se requiere eliminar sílice puede usarse cal dolomítica hidratada y/o magnesia activada. Las dosis aproximadas de reactivos se calculan como sigue:

Donde:

A = alcalinidad como  $\text{CaCO}_3$  en ppm

Mg = dureza de magnesio como  $\text{CaCO}_3$  en ppm

H = dureza total  $\text{CaCO}_3$  en ppm

Cal hidratada (93%), libras por cada 1000 galones de agua =  $A + \text{Mg}/151$

Si se usa cal viva (90%), libras por cada 1000 gal de agua =  $A + \text{Mg}/193$

Soda ash (98%), libras por cada 1000 galones de agua =  $H - A/111 + \text{exceso}$

El exceso requerido usualmente es 0.25 libras.

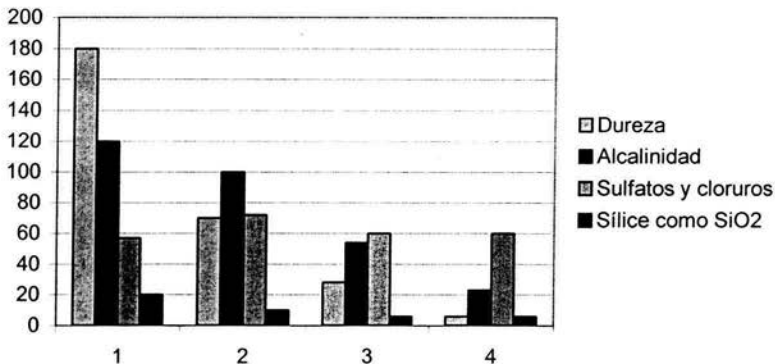
Nota: para obtener kg/metro cúbico multiplicar Lb/gal. Por 0.120

Para el **proceso en dos pasos, cal sodada en caliente y fosfatos**. El segundo paso consiste en la acción de una solución de fosfatos dentro del ablandador o bien en un tanque de asentamiento separado. Todas las formas de fosfatos de sodio mono-di-tri y poli son muy solubles y pueden dosificarse en forma de solución.

El **proceso en dos pasos, cal en caliente e intercambio catiónico ciclo sódico** presenta una serie de ventajas para el ablandamiento del agua para calderas entre las cuales podemos citar la reducción de sólidos totales, reducción de alcalinidad y menores costos de operación ya que resulta más barato eliminar durezas de no carbonatos por intercambio catiónico que por el uso de soda ash; así mismo, la eliminación de durezas residual por intercambio catiónico que por uso de fosfatos.

El siguiente diagrama muestra comparativamente los procesos de cal sodada en frío, cal sodada en caliente y el proceso en dos pasos de cal en caliente e intercambio catiónico ciclo sódico.

Gráfica. V.B. COMPARACIÓN DE PROCESOS EN FRIO Y EN CALIENTE



### 2.10 Destilación

Las ventajas de la destilación son que remueve casi completamente no solo la dureza, sino todas las otras sustancias minerales disueltas en el agua cruda. Sus principales desventajas son su alto costo inicial y alto costo de operación. De manera que la destilación está casi confinada por entero



a plantas que trabajan con vapor de alta presión y en donde el retorno de condensados constituye más del 95% del agua de alimentación de las calderas.

### **2.11 Osmosis Inversa**

La ósmosis inversa puede considerarse sobre la base de la permeación del agua y la retención salina, relacionándose con la operación de la filtración, por tanto del tipo físico; pero con la ósmosis inversa la membrana dispositivo de separación, faculta la existencia de dos disoluciones: una concentrada y otra diluida. Durante este proceso de desmineralización se aplican presiones, que pueden llegar a ser próximas a 100 bar, en el lado de la disolución salina, y se puede eliminar aproximadamente el 98% de las sales disueltas y virtualmente el 100% de materia coloidal y partículas suspendidas.

Este tipo de tratamiento externo al agua cruda de alimentación a calderas, requiere utilizar una etapa de prefiltración, para eliminar las partículas suspendidas de tamaño superior a 5  $\mu\text{m}$ , y un tratamiento sistemático que posibilite al máximo la eliminación o al menos la reducción del ensuciamiento de las membranas. Como consecuencia de la enorme eliminación salina que se consigue con la ósmosis inversa, ésta técnica posibilita fuertes reducciones de las posibles incrustaciones en las instalaciones de vapor, de tal modo que se aumenta su eficiencia energética.

## **3. TRATAMIENTOS INTERNOS**

La aplicación de los diferentes tratamientos internos será función principalmente de la calidad del agua o de la previsible tendencia a la formación de incrustaciones. La posibilidad de que éstas se generen será menor cuanto menor sea la dureza del agua: normalmente resultará baja si el agua alimentada tiene menos de 2  $\mu\text{S}$ , y los mejores resultados se verificarán cuando el contenido de calcio y magnesio sean nulos. La cantidad de sílice que puede ser admitida en las calderas es también función de la presión de trabajo y de la velocidad de producción de vapor. Así mientras las calderas de 20.4  $\text{kg}/\text{cm}^2$  o menos pueden admitir hasta 100 ppm  $\text{SiO}_2$ , las calderas de 20.4 a 61.2  $\text{kg}/\text{cm}^2$  pueden trabajar bien con menos de 20 ppm  $\text{SiO}_2$ , las calderas de 61.2 a 102  $\text{kg}/\text{cm}^2$  deben trabajar con menos de 2 ppm  $\text{SiO}_2$ , y las calderas de 102  $\text{kg}/\text{cm}^2$  o más no deben tener más de 0.05 ppm  $\text{SiO}_2$ .

Es difícil definir una perfecta línea divisoria entre los tratamientos internos y los tratamientos externos, a no ser que se considere exclusivamente como tratamientos internos aquellos en los que se realice la adición directa de productos químicos al interior de la caldera, normalmente con la doble finalidad de prevenir o reducir la formación de incrustaciones para aumentar el intercambio de calor en las superficies, y de evitar o disminuir la corrosión de las partes metálicas, ya sean producidas por gases o por diferentes sustancias disueltas. Los tratamientos internos estarían generalmente restringidos a las calderas de baja presión, y no serían recomendables en las calderas tubo de humo ni en las calderas de alta presión. Por esto es que se consideran tratamientos internos todas las dosificaciones de productos químicos que acondicionan el agua ya tratada con la que se pretende alimentar la caldera (condensados), y entre ellos cabe citar en primer lugar los controles del agua con carbonatos y con fosfatos.

### **3.1 Tratamiento con fosfatos**

El control con fosfatos se conoce y recomienda desde principios de siglo con la finalidad de transformar las sales de calcio y magnesio de tal manera que puedan ser dispersadas y eliminadas.

Un fosfato soluble añadido a las salinas en cantidad suficiente para precipitar la dureza y mantener un exceso, reaccionará con la dureza precipitándola en una forma no adherible, evitando así la formación de depósitos.





Los fosfatos más comúnmente usados son los siguientes:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Fosfato monosódico anhidro | $\text{NaH}_2\text{PO}_4$                             |
| Fosfato monosódico         | $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$    |
| Fosfato disódico anhidro   | $\text{Na}_2\text{HPO}_4$                             |
| Fosfato disódico           | $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ |
| Fosfato trisódico          | $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$     |
| Metafosfato de sodio       | $\text{NaPO}_3$                                       |

**Tabla V. H**  
**Requerimientos de fosfatos para precipitar de 1 a 30 ppm de dureza**

| CaCO <sub>3</sub><br>(ppm) | (lb/1000 gal requeridas para precipitar la dureza) |  |                           |   |  |  |                 |
|----------------------------|--|--|---------------------------|---|--|--|-----------------|
|                            | $\text{NaH}_2\text{PO}_4$                          | $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ | $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ | $\text{NaPO}_3$ |
| 1                          | 0.007  | 0.008  | 0.008                     | 0.021   | 0.010  | 0.021  | 0.006           |
| 2                          | 0.014  | 0.015  | 0.016                     | 0.020   | 0.042  | 0.042  | 0.011           |
| 3                          | 0.020  | 0.023  | 0.024                     | 0.062   | 0.030  | 0.063  | 0.017           |
| 4                          | 0.027  | 0.031  | 0.032                     | 0.083   | 0.040  | 0.084  | 0.023           |
| 6                          | 0.041  | 0.046  | 0.048                     | 0.125   | 0.060  | 0.125  | 0.034           |
| 8                          | 0.054  | 0.061  | 0.064                     | 0.166   | 0.080  | 0.167  | 0.046           |
| 10                         | 0.068  | 0.076  | 0.081                     | 0.208   | 0.100  | 0.209  | 0.057           |
| 12                         | 0.082  | 0.091  | 0.097                     | 0.249   | 0.120  | 0.251  | 0.069           |
| 14                         | 0.095  | 0.106  | 0.113                     | 0.291   | 0.140  | 0.292  | 0.080           |
| 16                         | 0.109  | 0.122  | 0.129                     | 0.332   | 0.160  | 0.334  | 0.092           |
| 18                         | 0.122  | 0.137  | 0.145                     | 0.374   | 0.180  | 0.376  | 0.103           |
| 20                         | 0.136  | 0.152  | 0.161                     | 0.416   | 0.200  | 0.418  | 0.114           |
| 22                         | 0.150  | 0.167  | 0.177                     | 0.220   | 0.220  | 0.460  | 0.126           |
| 24                         | 0.163  | 0.182  | 0.193                     | 0.240   | 0.240  | 0.501  | 0.137           |
| 26                         | 0.177  | 0.197  | 0.209                     | 0.260   | 0.260  | 0.543  | 0.149           |
| 28                         | 0.191  | 0.212  | 0.226                     | 0.280   | 0.280  | 0.585  | 0.161           |
| 30                         | 0.204  | 0.227  | 0.242                     | 0.300   | 0.300  | 0.627  | 0.172           |

El fosfato sódico puede también ser utilizado para controlar el pH de las calderas.

### 3.2 Tratamiento con carbonatos

El control del agua con carbonato sódico, y frecuentemente con hidróxido sódico, se realiza preferentemente para precipitar o eliminar sustancias como calcio, magnesio o sílice en forma de carbonatos, hidróxidos y silicatos, generando lodos o barros no adherentes. Para complementar en este objetivo se dosifican acondicionadores de lodos tales como polímeros orgánicos, los cuales aseguran una correcta antiadherencia de los mismos.

Ambos controles son eficaces en la eliminación del dióxido de carbono presente en el agua, con lo que se podrá evitar la formación del ácido carbónico y, por tanto, impedir un ataque ácido sobre las superficies de las calderas, es decir, su corrosión.

Cuando éstos tratamientos internos se realizan a fin de controlar las incrustaciones, es en general aconsejable, mantener el agua de la caldera en el rango de 10.5 a 11.5 de pH, y establecer una dosis de fosfato residual de 20 a 50 ppm; en todo caso, la Norma UNE 9-075-85 puede ser revisada para establecer con rigor las mismas. Mayores dosis generan también mayores contenidos de sólidos, con lo que se requerirían adiciones de sustancias orgánicas, tales como taninos, almidón, lignina, como aglutinantes de los lodos.

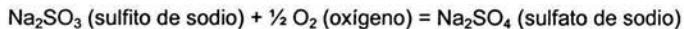


Al aumentar el contenido de sólidos en presencia de impurezas orgánicas, tales como grasas o aceites, se favorece la formación de espumas, por lo que se deben añadir antiespumantes para evitar que el vapor resulte contaminado. Alternativamente se pueden dosificar ácido etilendiaminotetracético y ácido nitriloacético para controlar la dureza residual del agua tratada, ya que ambos generan compuestos solubles con calcio y magnesio, evitando, por tanto, su precipitación.

### 3.3 Tratamiento del oxígeno disuelto por medios químicos

Las reacciones químicas del agua de la caldera con las partes metálicas se ven favorecidas por la presencia de otras sustancias, frecuentemente por los gases. No obstante, las características físico-químicas del metal y la rapidez del intercambio de calor son también factores que influyen en las reacciones. Es conocida la reacción del hierro con el agua para producir el hidróxido correspondiente, por lo que el control de la corrosión metálica se fundamenta tanto en el conocimiento del mecanismo, como en la descripción de la velocidad de las etapas que controlan la reacción global. El pH al que se verifica la condición global, utilizando agua desgasificada, es 8.3. Por tanto, es evidente que al aumentar la alcalinidad se reducirá la solubilidad del hierro y el agua aumenta con la presencia de oxígeno. El hidróxido de hierro puede reaccionar con oxígeno para formar magnetita, y ésta reacción, por lo común, es local, formándose una picadura (corrosión tipo cráter) en la superficie metálica, a partir de la cual el oxígeno provoca que el hierro se disuelva en mayor cantidad, y aun mucho mayor sería la acción si en la picadura se deposita sólido y se forma una costra. Por tanto para evitar al máximo la corrosión se deberá eliminar completamente el oxígeno en el agua de alimentación, es decir, tanto en el agua tratada como en la de retorno.

La corrosión dentro de una caldera de vapor se debe generalmente al oxígeno disuelto presente en el agua cruda, el cual ataca a los tubos y superficies interiores de la misma. Una forma de eliminar oxígeno disuelto generalmente aceptada, es añadiendo sulfito de sodio a la caldera, que reacciona con el oxígeno, produciendo sulfato de sodio, el cual no provoca corrosión.



Para calderas que operan a muy altas presiones la reducción del oxígeno se efectúa con hidracina, ya que ésta no introduce minerales al agua como sucede con el sulfato de sodio.



Resulta conveniente que las reacciones se realicen a baja temperatura para asegurar la estabilidad del sulfito sódico y de la hidracina. Las dosis de sulfito son dependientes del tipo de caldera, aunque por lo común en las de baja presión se dosifican alrededor de 30 ppm y en las de alta presión 3 ppm aproximadamente, tomándose estos datos como valores límites.

Es preciso minimizar la dosis a presiones altas, ya que el sulfito se descompone generando el dióxido de azufre. De otro lado, la dosis de hidracina debe ser tal que asegure que 0.02 ppm de hidracina residual estarán presentes antes de la entrada al economizador de calderas de alta presión; y para calderas de baja presión, la dosis de hidracina puede ser hasta 50 veces mayor. Durante las paradas de las instalaciones, las dosis deberían ser tres veces mayores, y el agua de alimentación a la caldera debería tener una dosis de 0.06 ppm.

El sulfito sódico y la hidracina muestran, además la adicional facilidad de colaborar generando o fijando la película protectora de óxido de hierro, magnetita que al estar en contacto con el agua evitará futuros ataques a la superficie de la caldera.



| (ml/L) | (ppm)  | (g/1000 L) |
|--------|--------|------------|
| 0.01   | 0.0143 | 0.000939   |
| 0.02   | 0.0286 | 0.00188    |
| 0.03   | 0.0429 | 0.00282    |
| 0.04   | 0.0572 | 0.00376    |
| 0.05   | 0.0715 | 0.00470    |
| 0.10   | 0.143  | 0.00939    |
| 0.15   | 0.205  | 0.0141     |
| 0.20   | 0.286  | 0.0188     |
| 0.30   | 0.429  | 0.0282     |

Para controlar la corrosión de los condensados, es recomendable usar algún tipo de aminas que neutralicen las condiciones ácidas, pero también puede usarse para este objeto el intercambio iónico. Este intercambio consiste en la permutación de bicarbonatos y sulfatos por cloruros de sodio, que no provoca ninguna clase de problemas en las calderas. Estos equipos operan en forma similar a un suavizador de agua y son regenerados asimismo con sal común. Al no haber bicarbonatos en el agua de alimentación, el bióxido de carbono en el condensado es tan bajo, que la corrosión en los sistemas de retorno deja de ser un problema.

#### 3.4 Inhibidores

Para evitar la fragilización cáustica pueden ser utilizados tanto los inhibidores orgánicos como inorgánicos.

Los fosfatos y nitratos de sodio se encuentran entre los inhibidores inorgánicos así como la relación entre los sulfatos y carbonatos que deben mantenerse en las salinas de la caldera. Mientras que los sulfonatos, el quebracho y los taninos se encuentran entre los inhibidores orgánicos.

En el caso del nitrato de sodio las dosificaciones son alrededor de 0.3 – 0.4 ppm por 1 ppm de alcalinidad.

Las relaciones de sulfato-carbonato sugeridas por la A.S.M.E son:

|                          |                              |  |
|--------------------------|------------------------------|--|
| $\text{Na}_2\text{SO}_4$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 1$ | Calderas 10.5 kg/cm <sup>2</sup> presión operación       |
| $\text{Na}_2\text{SO}_4$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 2$ | Calderas hasta 17.6 kg/cm <sup>2</sup> presión operación |
| $\text{Na}_2\text{SO}_4$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 3$ | Calderas para presión mayor a 17.6 kg/cm <sup>2</sup>    |

Existe un sistema práctico para detectar la fragilidad. Su nombre es detector de Shoroeder, el aparato es pequeño de manera que se puede instalar en calderas estacionarias y de locomotoras. Este detector es diseñado para producir condiciones de esfuerzo en una placa de prueba con concentración de agua de caldera en una determinada área la cual al atacar la mencionada placa en forma más concentrada, atacaría la placa de prueba que se supone que se extrae con frecuencia para hacerle pruebas de granulometría y de esta forma detectar si aparece la fragilización.

Diferentes amino derivados pueden ser dosificados como agentes de tratamiento interno, tales como morfina o ciclohexilamina y amoníaco, ya que estas sustancias suben el pH del agua y presentan la ventaja adicional de ser volátiles, de tal manera que pueden ser transportadas por el vapor de la caldera y redisolverse en el vapor condensado. Es por ello que transmiten cierta basicidad por toda la instalación, protegiendo los circuitos de condensados de la corrosión producida generalmente por el dióxido de carbono y oxígeno que pudiera, bien estar presente en el vapor, bien haberse absorbido en los diferentes tanques del sistema de condensación.



### 3.5 Purgas

En todos los métodos de tratamiento de aguas para calderas, excepto en la desmineralización y destilación los sulfatos y cloruros no se remueven y aparecen como sales de sodio en el agua de alimentación. Cuando esta agua se usan en las calderas de vapor esas sales de sodio se concentran en las salinas. Si se permiten que continúen sin control pueden llegar a un punto en el cual pueden ocasionar serios daños en la caldera. Sumado a lo anterior se tiene la precipitación de sólidos, lodos, etc. Que permanecen en la caldera al irse evaporando el agua y salir en forma de vapor (agua casi 100% pura).

Al no haber un control en lo referente a las sales de sodio la concentración alcanzará un punto en el cual puede haber espuma y priming mientras que estos dos términos son sinónimos, el priming se refiere a una ebullición de muy pequeñas burbujas dispersadas sobre las capas superiores de las salinas de la caldera. Cualquiera de estas dos formas tiene como resultado el arrastre de las sales con sus daños consiguientes.

En lo referente a los lodos y sólidos que precipitan en la caldera estas pueden ocasionar incrustaciones y sobrecalentamientos del metal. La concentración específica a la cual estos fenómenos ocurren varía en diferentes casos de acuerdo a ciertos factores tales como la composición de las salinas, la presencia o ausencia de materia en suspensión, los sólidos totales, el diseño de la caldera, la presión y la capacidad a la que la caldera opera.

La siguiente tabla indica los límites permisibles para la concentración de sólidos totales en el agua dentro de la caldera.

Límites para la concentración del agua en calderas con tambores de vapor aprobados por la American Boiler and Affiliates Industries.

| Presión del vapor de salida (lb/plg <sup>2</sup> g) | Sólidos totales ppm | Alcalinidad total ppm | Sólidos suspendidos ppm | Sílice ppm |
|---|---------------------|-----------------------|-------------------------|------------|
| 0 – 300   | 3500                | 700                   | 300                     | 125        |
| 301 – 450   | 3000                | 600                   | 250                     | 90         |
| 451 – 600   | 2500                | 500                   | 150                     | 50         |
| 601 – 750   | 2000                | 400                   | 100                     | 35         |
| 751 – 900   | 1500                | 300                   | 60                      | 20         |
| 901 – 1000  | 1250                | 250                   | 40                      | 8          |
| 1001 – 1500   | 1000                | 200                   | 20                      | 2.5        |
| 1501 – 2000   | 750                 | 150                   | 10                      | 1.0        |
| 2001- y mayor                                       | 500                 | 100                   | 5                       | 0.5        |

El método de mantener la concentración de las sales dentro de los límites establecidos es purgar una cantidad requerida de ellas al drenaje ya sea periódicamente (purga intermitente) o en forma continua (purga continua).

El método para calcular la cantidad de purga que se debe practicar se puede basar en dos aspectos:

- a) Porcentaje de agua de compensación
- b) Porcentaje de evaporación de la caldera

Para el caso a):  $A = B * (100/C)$

A = Purga en porcentaje de agua de compensación

B = ppm de sólidos totales en el agua de compensación



C = concentración de sólidos totales máxima permisible (de tabla anterior)

Para el caso b):  $X = Y * (100/C - y)$

X = Purga en términos de evaporación de la caldera

Y = ppm de sólidos totales en el agua de alimentación (agua de repuesto + condensados)

C = Concentración de sólidos totales máxima permisible (de tabla anterior)

a) Purga intermitente

Consiste en purgar simplemente abriendo la válvula al drenaje, efectuando esta operación en una forma periódica. Por lo general el calor que contiene la purga se desperdicia. Las purgas intermitentes conducen a salinidades variables en la caldera y en consecuencia a una operación no uniforme. Es importante un control estricto en la cantidad de purga y en el número de veces en que resulte recomendable purgar.

b) Purgas continuas.

La purga continua se lleva a efecto eliminando continuamente una pequeña cantidad de las salinas de la caldera a un flujo controlado de manera de mantener una concentración constante en la caldera. Esta purga se puede pasar a través de un intercambiador de calor y recuperar la mayoría de estas unidades caloríficas. Si la caldera se opera a altas presiones, algo de la purga puede ser falseada a vapor de baja presión en uno o varios pasos antes de pasarlo a través del intercambiador de calor.



## CAPÍTULO VI. LA CALDERA Y LOS PRINCIPALES SISTEMAS QUE LA INTEGRAN

### 1. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

Uno de los factores principales para la operación óptima de una caldera es el de contar con un sistema de suministro de agua el cual sea adecuado para cada caso particular, esto es debido a que es indispensable mantener un nivel de agua constante en el interior de la caldera para que no ocurra un siniestro o falla de algunas de sus partes.

Todo sistema efectivo de alimentación de agua a calderas debe contar con:

- Reserva mínima de agua (tanque de almacenamiento)
- Equipo de bombeo
- Control del sistema

#### 1.1 Reserva mínima

La cantidad de agua que se alimenta a una caldera es prácticamente la cantidad de vapor que se produce, por lo tanto la reserva de agua necesaria va en proporción a la capacidad de la caldera.

Un criterio recomendable para obtener la cantidad del agua de reserva y la capacidad del tanque es el de almacenar una cantidad mínima de agua suficiente para sostener la evaporación en la caldera por lo menos durante 20 minutos.

**Ejemplo:** Determinar la reserva mínima de agua necesaria para el funcionamiento de una caldera de 100 caballos caldera de capacidad.

Para satisfacer la demanda de agua de un caballo caldera durante un minuto, se requieren 0.261 litros (0.069 galones).

Solución.

1. De acuerdo a lo anterior, una caldera de 100 caballos caldera de capacidad evaporará:

$$100 \text{ CC} * 0.261 \text{ L/min CC} = \underline{26.1 \text{ L/min}}$$

2. Si la reserva mínima debe satisfacer la evaporación en la caldera durante 20 minutos, entonces la reserva mínima total es:

$$26.1 \text{ L/min} * 20 \text{ min} = \underline{522 \text{ litros}}$$

3. Debido a que el tanque de almacenamiento no debe estar ahogado en ningún momento, el volumen total de éste debe ser:

$$\frac{\text{Reserva mínima de agua}}{0.7} = \frac{522}{0.7} = \boxed{746 \text{ litros}}$$

Esto con la finalidad de dejar libre el 30% del volumen del tanque. En la mayoría de los casos para cumplir con un almacenamiento de agua adecuado se utiliza un recipiente el cual además de mantener la reserva mínima de agua, sirve también para recibir retornos de condensados de alta y baja presión (si los hay) y el cual se denomina tanque de condensados.

En ciertos casos en los que el agua de alimentación disponible y las condiciones que se requieren para ésta hacen necesaria la Desaeeración el tanque de condensados es substituido por un desaeador.



En conclusión podemos decir que para contar con la reserva mínima de agua de alimentación es necesario tener un tanque de condensados, un desaereador o un sistema con la combinación de ambos.

## 1.2 Equipo de bombeo y control del sistema

Existen cinco criterios de diseño que deben ser considerados antes de que una bomba de alimentación de agua sea seleccionada:

- Operación continua o intermitente
- Temperatura del agua manejada inicialmente
- Capacidad
- Presión de descarga
- Carga neta de succión positiva (NPSH) requerida

### 1.2.1 Operación continua o intermitente

La primera consideración que hará tomar una decisión es determinar si la bomba va a funcionar en forma continua o intermitente; esta consideración depende de una serie de factores tales como, el tipo de servicio de la caldera, tubos de agua o tubos de humo, marca, etc. En la mayoría de los casos de aplicación las bombas de alimentación de agua a calderas de tubos de humo, están dentro de un ciclo de operación intermitente.

Las calderas de tubos de humo son usualmente proporcionadas con un flotador sobre el cual actúa un switch, el cual para y arranca la bomba de alimentación entre cierto nivel. En este caso la línea de descarga a través de la bomba de alimentación debe dirigirse directamente a la caldera sin restricciones en ésta línea.

Cuando la caldera de tubos de humo es proporcionada con algún tipo de válvula motorizada en la línea de alimentación, la bomba de alimentación puede ser seleccionada para operación intermitente o continua dependiendo de las especificaciones.

Es importante saber si la bomba opera en forma intermitente o continua, debido a que la capacidad, presión de descarga y tipo de la bomba seleccionada dependerá de esta consideración. Existen dos tipos de bombas disponibles por seleccionar, estas son:

- Bombas tipo turbina y bombas tipo centrífuga.

Como una regla general la bomba tipo turbina es frecuentemente seleccionada para operación intermitente y la bomba centrífuga para operación continua.

Esto no implica que una bomba tipo turbina no puede ser usada para operación continua, ó que una tipo centrífuga no pueda ser usada para operación intermitente, sin embargo el criterio de selección será diferente.

### 1.2.2 Temperatura del agua manejada inicialmente

La temperatura del agua inicialmente manejada por la bomba es también un criterio importante en la selección de ella, usualmente están disponibles bombas standard con rangos de temperatura entre aproximadamente 100 °C a 104 °C, mientras que otras bombas están disponibles para temperaturas hasta de 121 °C o mayores con enfriamiento de agua externo. Si la temperatura es mayor de 121 °C será necesario consultar con el fabricante.

### 1.2.3 Capacidad

Todas las bombas tipo turbina tienen que ser seleccionadas para una unidad de 1.5 a 2.0 veces la capacidad de evaporación de la caldera para la que se va a utilizar, a menos que las especificaciones requieran valores más altos.

Las bombas centrífugas (operación continua) deben ser seleccionadas sobre la base de 1.10 a 1.15 veces la capacidad de evaporación de la caldera. Aumentar a este factor una determinada



cantidad de litros (dependiendo de la bomba y el tamaño del motor seleccionado) requeridos para el orificio de By-pass.

#### 1.2.4 Presión de descarga

La presión de descarga de la bomba es otro principio el cual requiere cuidadosa consideración. Si la tubería en la línea de descarga de la bomba esta conectada directamente a la caldera (sin válvula motorizada o regulador de alimentación de agua en esta línea) solamente es necesario considerar la presión de operación de la caldera y las pérdidas a través de la línea para determinar la presión de descarga en la bomba.

La selección de la presión de descarga en bombas tipo turbina es menos crítica que en bombas centrífugas.

Se debe tener la seguridad de que la presión de descarga seleccionada es siempre mayor que la presión de operación de la caldera. Generalmente de 0.353 a 1.76 Kg/cm<sup>2</sup> por arriba de la presión de operación de la caldera es una buena consideración .

Si una válvula motorizada es requerida en la línea de descarga de la bomba aumente 1.41 kg/cm<sup>2</sup> ó 1.76 Kg/cm<sup>2</sup> a la presión de operación de la caldera para determinar correctamente la presión de descarga de la bomba

#### 1.2.5 Carga neta de succión positiva (NPSH) requerida

El quinto criterio para la correcta selección de una bomba es la carga neta de succión positiva (NPSH). Cada diseño de bomba tiene un cierto requerimiento de NPSH. Esta es la cantidad de líquido en cm (pies) que deberá ser presentada en la succión de la bomba para prevenir la cavitación y para proporcionar una apropiada operación. Es recomendable hacer una selección que tenga los más bajos requerimientos de NPSH posibles. Para cumplir con esto deben ser aceptadas una serie de limitaciones. Usualmente una selección con un requerimiento de bajo NPSH, establece una bomba grande y consecuentemente requiere un motor de gran capacidad. Sin embargo hablando generalmente, es más importante mantener la altura total a un mínimo tal, que seleccionar una bomba con un elevado NPSH.

## 2. SISTEMA ELÉCTRICO

Generalmente la mayoría de las calderas tienen incorporadas las siguientes cargas eléctricas:

- Circuito de control
- Motor para el ventilador
- Motor de la bomba de agua
- Motor de la bomba de combustible (para calderas de más de 100 CC)

De esta manera se recomienda un sistema de alimentación de energía eléctrica como el que se ilustra en diagrama del tablero eléctrico, el cual consta de:

- Cinco interruptores de fusibles
- Dos arrancadores
- Arrancador magnético no reversible, para la bomba de agua.
- Arrancador manual directo a la línea, para la bomba de combustible

Transformador para el circuito de control de 220 o 440 Volts a 110 Volts en 500 Watts hasta 200 CC y 1000 watts de 250 CC en adelante para protección del programador.

Para el correcto funcionamiento del equipo eléctrico, es conveniente que el voltaje se mantenga lo más constante posible. Esto es de vital importancia para el circuito de control, el cual no admite variaciones +\_ 10% de los 127.5 volts nominales.





Es indispensable que los controles eléctricos se encuentren protegidos contra el polvo, el calor y la humedad. En general la instalación debe reunir los requerimientos del reglamento de instalaciones eléctricas.

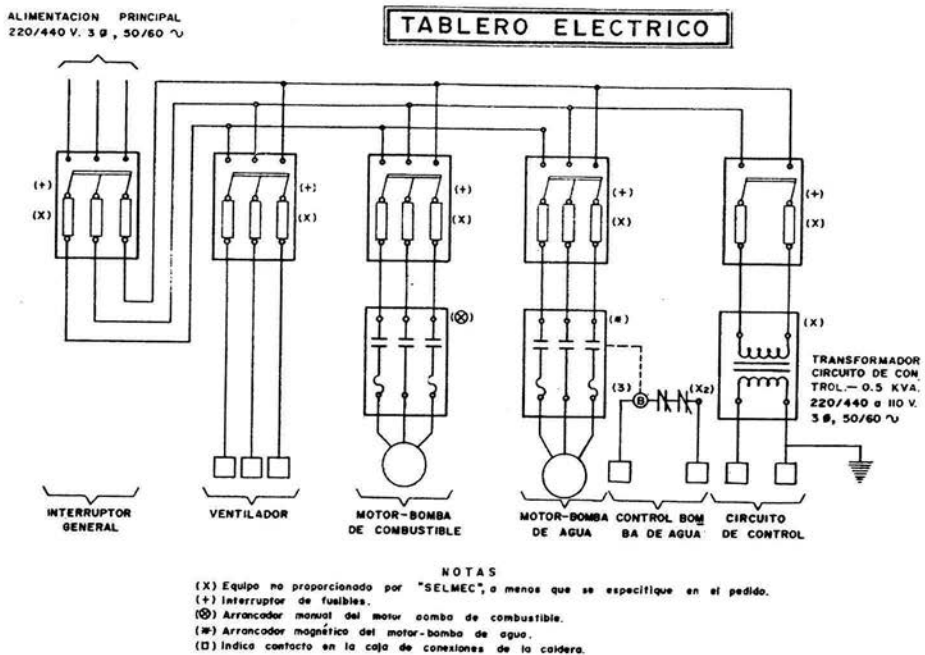


Fig. VI.A. Tablero Eléctrico

## 2.1 Conductores eléctricos

En un principio todos y cada uno de los fabricantes de conductores eléctricos clasificaban a los mismos con diferentes números, símbolos y nomenclaturas, provocando con ello confusión en los trabajadores del ramo al no saber a ciencia cierta si trabajaban con las mismas secciones transversales al diferir en simbología y número de un fabricante a otro.

Después de un estudio exhaustivo de todos y cada uno de los métodos para diferenciar las áreas transversales (calibres) de los conductores eléctricos y observando la fácil interpretación de la nomenclatura presentada por la Compañía "American Wire Gauge" (A.W.G.), ésta fue adoptada por lo que, para los calibres de los conductores eléctricos se les antecede con la leyenda.- Calibre No. A.W.G. o M.C.M. Las siglas M.C.M. indican el área transversal de los conductores eléctricos en "Mil Circular Mills". Equivalencia en el calibre en A.W.G. o M.C.M. Se dice que se tiene un C.M. (Circular Mil) cuando el área transversal tiene un diámetro de una milésima de pulgada.

Conociendo el significado de A.W.G. y la equivalencia entre  $\text{mm}^2$  y C.M., la Tabla siguiente establece el diámetro y área del cobre según calibre de los conductores eléctricos, así como también el diámetro total con todo y aislamiento.



| Calibre A.W.G. O M.C.M. |     | Diámetro del cobre en mm | Área del cobre |        | Diámetro Total con aislamiento |       |
|-------------------------|-----|--------------------------|----------------|--------|--------------------------------|-------|
|                         |     |                          | MM2            | C.M.   | TW THW                         |       |
| <b>ALAMBRES</b>         | 14  | 1.63                     | 2.08           | 4160   | 3.25                           | 2.74  |
|                         | 12  | 2.05                     | 3.30           | 6600   | 3.68                           | 3.17  |
|                         | 10  | 2.59                     | 5.26           | 10520  | 4.22                           | 3.96  |
|                         | 8   | 3.26                     | 8.34           | 16680  | 5.72                           | 5.19  |
| <b>C</b>                | 14  | 1.84                     | 2.65           | 5520   | 3.48                           | 2.96  |
|                         | 12  | 2.32                     | 4.22           | 8440   | 3.96                           | 3.44  |
|                         | 10  | 2.95                     | 6.83           | 13660  | 4.57                           | 4.32  |
| <b>A</b>                | 8   | 3.71                     | 10.80          | 21600  | 6.15                           | 5.64  |
|                         | 6   | 3.91                     | 12.00          | 22000  | 7.92                           | 6.60  |
| <b>B</b>                | 4   | 5.89                     | 27.24          | 54480  | 9.14                           | 8.38  |
|                         | 2   | 7.42                     | 43.22          | 86440  | 10.67                          | 9.91  |
| <b>L</b>                | 1/0 | 9.47                     | 70.43          | 140800 | 13.54                          | 12.54 |
|                         | 2/0 | 10.64                    | 88.90          | 177740 | 14.70                          | 12.71 |
| <b>E</b>                | 3/0 | 11.94                    | 111.96         | 222250 | 16.00                          | 15.00 |
|                         | 4/0 | 13.41                    | 141.21         | 282320 | 17.48                          | 16.40 |
| <b>S</b>                | 250 | 14.61                    | 167.64         | 335080 | 19.50                          | 18.24 |
|                         | 300 | 16.00                    | 200.96         | 401920 | 20.90                          | 19.63 |
|                         | 400 | 18.49                    | 268.51         | 536740 | 23.40                          | 22.12 |
|                         | 500 | 20.65                    | 334.91         | 669480 | 25.60                          | 24.28 |

Los factores de corrección por temperatura, nos indican en qué porcentaje disminuye la capacidad de conducción de corriente de los conductores eléctricos conforme aumenta la temperatura ambiente. Los factores de corrección por agrupamiento marcan el porcentaje de área de área del cobre que se debe agregar a los conductores eléctricos según el número de éstos, dentro de una misma canalización. Generalmente se trabaja con el calibre de los conductores, sin embargo, en ocasiones sólo se tiene el valor de su resistencia por unidad de longitud, por tanto es necesario conocer la siguiente tabla.

|                 | CALIBRE               | OHMS/KM a 20°C       | PESO EN KG/KM      |                     |
|-----------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
|                 | A.W.G.<br>o<br>M.C.M. | OHMS/KM<br>a<br>20°C | CON AISLAMIENTO    |                     |
|                 |                       |                      | VINANEL 900<br>THW | VINANEL-NYLON<br>TW |
| <b>ALAMBRES</b> | 14                    | 8.28                 | 27                 | 23                  |
|                 | 12                    | 5.21                 | 40                 | 35                  |
|                 | 10                    | 3.28                 | 56                 | 50                  |
|                 | 8                     | 2.06                 | 99                 | 91                  |
| <b>CABLES</b>   | 14                    | 8.45                 | 30                 | 25                  |
|                 | 12                    | 5.31                 | 43                 | 38                  |
|                 | 10                    | 3.35                 | 63                 | 60                  |
|                 | 8                     | 2.06                 | 105                | 98                  |
|                 | 6                     | 1.29                 | 170                | 148                 |
|                 | 4                     | 0.81                 | 250                | 237                 |
|                 | 2                     | 0.51                 | 380                | 362                 |
|                 | 1/0                   | 0.32                 | 600                | 568                 |
|                 | 2/0                   | 0.26                 | 740                | 706                 |
|                 | 3/0                   | 0.20                 | 915                | 877                 |
|                 | 4/0                   | 0.16                 | 1134               | 1094                |
|                 | 250                   | 0.14                 | 1352               | 1295                |
|                 | 300                   | 0.11                 | 1600               | 1539                |
| 400             | 0.09                  | 2095                 | 2026               |                     |
| 500             | 0.07                  | 2584                 | 2509               |                     |



Intencionalmente se dan los valores respecto a las áreas interiores de tubos conduit y ductos cuadrados, mientras el 100% es el área absoluta, el 40% nos da el área que deben ocupar como máximo los conductores eléctricos (con todo y aislamiento) conociéndose este valor como factor de relleno excepto para cables de varios conductores.

Además, en lo que respecta a los diámetros de los tubos y ductos, se tienen dos unidades, en pulgadas como se conocen en el mercado y en milímetros como se deben indicar en los planos. Ahora bien, en toda línea alimentadora de energía existe una caída de tensión que es directamente proporcional a la resistencia presentada por los conductores y a la intensidad de corriente que circula por ellos, esta caída de tensión bajo las condiciones anteriores se puede expresar  $E = RI$ .

$$R = \rho L/S$$

Donde:

R = Resistencia en Ohms

$\rho$  = Resistividad del cobre en Ohms/m/mm<sup>2</sup>

L = Longitud de los conductores en metros

S = Sección transversal de los conductores en mm<sup>2</sup>

De la fórmula de la resistencia en el caso anterior puede deducirse lo siguiente:

A mayor longitud de los conductores, mayor es la resistencia que oponen al paso de la intensidad de corriente por ellos y en consecuencia mayor es la caída de tensión provocada, sin embargo, esta disminución en el valor de la tensión puede ser aminorada si se aumenta la sección transversal de los conductores.

Como es peligroso trabajar con caídas de tensión muy altas, las caídas de tensión máxima permitidas están tabuladas en el Reglamento e Instalaciones Eléctricas.

El peligro que representa trabajar con valores de tensión no acordes a las condiciones de trabajo o datos de placa de los aparatos, máquinas, elementos, accesorios conectados en la línea se puede resumir:

a) Baja Tensión

Los motores conectados a una tensión mucho menor que la indicada en sus datos de placa no arrancan, se produce en ellos un ruido característico y se sobrecalientan.

Las lámparas conectadas a una tensión menor que la indicada en las mismas, disminuyen considerablemente su intensidad luminosa.

b) Alta Tensión

Los motores conectados a una tensión mayor que la nominal para su buen funcionamiento se sobrecalientan disminuyendo sus horas de vida.

Por lo anterior, es aconsejable conectar tanto máquinas, motores, elementos, dispositivos eléctricos, etc. a tensión correcta para su buen funcionamiento y aprovechamiento de la energía en todos y cada uno de ellos.

## 2.2 Instalación Eléctrica de motores

Para la correcta instalación de motores eléctricos bajo las mejores condiciones técnicas y de seguridad, es necesario tomar en cuenta un número tal de datos como: sistema y tipo de corriente de que se dispone, tipo de motor y su potencia ya que se tienen motores de corriente continua y motores de corriente alterna, fraccionarios y de gran potencia, monofásicos y trifásicos, etc.

a) Motores de corriente alterna

Los motores de corriente alterna se dividen en dos grandes grupos a saber:



- Síncronos
- Asíncronos o de inducción

A su vez, los asíncronos o de inducción se dividen en motores tipo jaula de ardilla y motores de anillos rozantes también conocidos como de Rotor devanado.

b) Motor individual

Cuando solo se tiene un motor para alimentar, el circuito derivado estará provisto de conductores que como mínimo soporten 25 por ciento más de la corriente de placa o corriente a plena carga.

c) Corriente de placa

La corriente de placa o corriente a plena carga es la que consume un motor cuando está desarrollando su potencia a velocidad normal y por lo tanto ya están incluidas las pérdidas mecánicas por fricción, las pérdidas magnéticas y las pérdidas eléctricas en el cobre conocidas como pérdidas por efecto Joule ( $P = R I^2$ ).

Los motores empleados en las instalaciones de calderas Cleaver Brooks son motores de corriente alterna asíncronos tipo jaula de ardilla.

### 2.3 Forma de conectar los motores.

Para la correcta conexión de los motores, es de suma importancia conocer capacidad y tipo de trabajo a desarrollar para ver si es posible conectarlo en forma directa o si hay necesidad de protección adicional.

a) Motor conectado en forma directa

Es común encontrar motores de inducción de hasta 5 H.P. conectados en forma directa pero, es recomendable conectar así solo motores fraccionarios de hasta 1 H.P., y de esta potencia en adelante proveerlos de protección adicional.

b) Conexión de un motor protegido con arrancador

En esta conexión, el motor tiene el máximo de seguridad tanto para su arranque como para su funcionamiento. También en este caso los fusibles que protegen contra sobredescarga al circuito derivado deben ser de una capacidad tal que soporten la corriente de arranque que es varias veces la corriente de placa.

c) Varios motores

Para cuando se tienen varios motores, los conductores alimentadores generales se calculan por corriente y por caída de tensión tomando como base que los conductores deben ser calculados para transportar la corriente de placa del motor de mayor potencia, mas el 25% de este valor, más la suma de las corrientes de placa de los demás motores.

Como en un grupo de motores no todos trabajan en forma simultánea, en algunos casos es aplicable un factor de demanda para la corriente por conductor sin embrago, previniendo un aumento de carga posterior, es aconsejable dejar sobrados los conductores en las alimentaciones generales.

### 2.4 Arrancadores

El control más económico y en consecuencia más empleado para los motores de inducción Jaula de Ardilla, es mediante el empleo del "Arrancador a Tensión completa".

Este tipo de control, tiene como inconveniente la aplicación de un par mayor que el de a plena carga, el cual puede dañar la flecha de la máquina movida (torciéndola o rompiéndola en el peor de los casos) y producir además, perturbaciones en el sistema eléctrico, debido a la caída de tensión súbita producida por la alta corriente de arranque del motor. Las perturbaciones en el sistema eléctrico pueden constatarse por el parpadeo de las lámparas e inclusive en ocasiones se provoca el paro de otros motores.



Por las anteriores razones, las compañías suministradoras de energía eléctrica, objetan el empleo de arrancadores a tensión completa para motoras medianos y grandes (de 15 H.P. en adelante) y exigen el empleo de "Arrancadores a Tensión reducida" para con ellos reducir el par y la corriente del arranque. La corriente podrá reducirse lo más que permita la reducción del par, siendo el valor mínimo de éste, el que determina la tensión que deba aplicarse.

Como norma práctica se tiene:

Los motores de hasta ½ H.P., pueden conectarse directamente a la línea sin riesgo de dañarlos o provocar perturbaciones en el sistema eléctrico. Para la conexión de motores de hasta 15 H.P. inclusive, se recomienda protegerlos con "Arrancadores a Tensión Completa". Para motores de 15 HP en adelante, por requerimientos de la Dirección General de electricidad es necesario el uso de "Arrancadores a Tensión Reducida" para que al arrancar no produzcan perturbaciones en el sistema eléctrico.

### 2.5 Demanda y rendimiento de motores eléctricos.

Por requerimiento de la Comisión Federal de Electricidad y de la Cia. de Luz y Fuerza del Centro, S.A., deben asignarse los siguientes valores en Watts a los motores eléctricos en los cuadros de cargas, para sí incluir las pérdidas al cambio de energía eléctrica a mecánica, ya que los HP marcados en los datos de placa solamente indican la potencia en la flecha más no la potencia que toman de la línea.

| POTENCIA INDICADA EN H.P. | COM. FED. DE ELEC. MOTORES |                  | CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL C.S.A. MOTORES |                  |
|---------------------------|----------------------------|------------------|---|------------------|
|                           | MONOFÁSICOS WATTS          | TRIFÁSICOS WATTS | MONOFÁSICOS WATTS                       | TRIFÁSICOS WATTS |
| 1/20                      | 60                         |                  | 60                                      |                  |
| 1/16                      | 80                         |                  | 80                                      |                  |
| 1/8                       | 150                        |                  | 150                                     |                  |
| 1/6                       | 202                        |                  | 200                                     |                  |
| ¼                         | 293                        | 264              | 290                                     | 260              |
| 1/3                       | 395                        | 355              | 390                                     | 350              |
| 0.50                      | 527                        | 507              | 520                                     | 500              |
| 0.75                      | 780                        | 740              | 770                                     | 730              |
| 1.00                      | 993                        | 953              | 980                                     | 940              |
| 1.50                      | 1480                       | 1418             | 1460                                    | 1400             |
| 2.00                      | 1935                       | 1844             | 1910                                    | 1820             |
| 2.50                      | 2390                       | 2290             | 2360                                    | 2260             |
| 3.00                      | 2766                       | 2726             | 2730                                    | 2690             |
| 5.00                      |                            | 4490             |   | 4430             |
| 7.00                      |                            | 6293             |   | 6210             |
| 7.50                      |                            | 6577             |   | 6490             |
| 10.00                     |                            | 8674             |   | 8560             |
| 15.00                     |                            | 12860            |   | 12690            |
| 20.00                     |                            | 16953            |   | 16730            |
| 25.00                     |                            | 21188            |   | 20910            |
| 30.00                     |                            | 24725            |   | 24400            |
| 40.00                     |                            | 32609            |   | 32180            |
| 50.00                     |                            | 40756            |   | 40220            |

Rendimientos promedios considerados:

|                                  |               |               |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| COMPAÑÍA DE LUZ                  | MINIMO 85.78% | MÁXIMO 89.50% |
| COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD | MINIMO 85.85% | MÁXIMO 89.96% |



Para motores de más de 50 H.P., multiplíquese los H.P. por 800 WATTS para obtener la carga a considerar.

### **2.6 Instalaciones Industriales**

Tratándose ya no de instalaciones eléctricas de casas habitación, de oficinas o de pequeños comercios, sino de una instalación eléctrica industrial, deben tenerse presentes un sinnúmero de condiciones, una de ellas son:

- a) Las canalizaciones que encierran conductores eléctricos para conectar lámparas y contactos monofásicos, deben ser totalmente independientes de las canalizaciones que encierran conductores eléctricos para conectar motores (sistema de fuerza).
- b) Por lo anterior, es evidente que hay necesidad de disponer de los planos como mínimo, uno para el proyecto de alumbrado y contactos y otro para el proyecto de fuerza.
- c) La localización de motores se hace por medio de pequeños círculos con un número dentro para su completa identificación toda vez que por separado en lugar visible y en forma ordenada con los números colocados en forma progresiva se expresa claramente a qué motor o máquina corresponden.
- d) Así como en el plano de alumbrado se indica un cuadro de cargas marcando el número total de circuitos derivados empleados, el tipo y capacidad de las lámparas por conectar, tipo de capacidad de los contactos, etc., en el plano correspondiente al proyecto de fuerzas es obligado indicar un cuadro denominado cuadro de fuerza y protecciones.

### **3. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE**

Las máquinas de vapor queman combustible de cualquier tipo para desarrollar calor y generar vapor. El combustible puede ser gas, líquido o sólido. Una planta a menudo puede tener disponible los tres tipos de combustible y debe ser capaz de quemar todos simultáneamente. En donde se dispone de varios combustibles debe tenerse uno de reserva, ya que el suministro puede venir en diferentes combustibles generalmente; si se emplean dos, comúnmente uno queda de reserva y el combustible sólido es el que se almacena generalmente; así que el líquido se usará como respaldo del gaseoso cuando no se dispone del carbón.

Deben tenerse facilidades por medio del combustible recibido y almacenado. El gas necesita de un mínimo de equipo, pues se recibe en gasoducto y no se almacena en la planta. El aceite combustible puede recibirse por oleoducto o por algún medio de transporte sea carros-tanque, barcas, barcazas, etc., y es descargado, bombeado y calentado para facilitar su bombeo. El carbón y otro combustible sólido requieren gran cantidad de aparatos para descargar, transportar y almacenar, así como los aparatos necesarios para prepararlos antes de quemarse.

#### **3.1 Línea de combustible petróleo pesado**

Las dimensiones de las líneas de combustible son de gran importancia para el buen funcionamiento de una caldera. Se debe tener particular cuidado en las dimensiones de la línea de succión desde el tanque de almacenamiento a la bomba; la ubicación adecuada de la bomba de combustible.

La succión que será impuesta a la bomba es causada por:

- a) La elevación vertical del tanque a la bomba
- b) La caída de presión a través de las válvulas, coladeras, conexiones, etc. en la línea de succión.
- c) Las pérdidas por fricción debidas al flujo del combustible a través de la tubería de succión varían de acuerdo a:
  - C1. La temperatura de bombeo del combustible, el cual determina la viscosidad del mismo.
  - C2. la cantidad de combustible (GPH) bombeado.
  - C3. La longitud total de la línea de succión (pies)



#### C 4. Diámetro de la línea de succión

Sugerencias importantes:

- La succión impuesta a la bomba debe ser de 17 pulgadas de mercurio o menos a la línea central de la bomba de combustible (cuando la bomba está integrada a la caldera).
- La viscosidad del combustible deberá ser de 4000 S.S.U o menos.

Para ilustrar la manera de calcular las dimensiones para la línea de petróleo pesado, se tiene el siguiente ejemplo (para sistemas con condiciones diferentes a 10 pies de elevación y 100 pies de línea de succión):

**Ejemplo:** determine la dimensión de la línea de combustible de una caldera modelo Cb de 300 caballos caldera, utilizando petróleo pesado como combustible. Elevación vertical a la línea central de la bomba 11 pies. Longitud de la línea de succión a partir del inicio de la tubería de succión a la conexión de la bomba 110 pies.

Solución.

- Altura de succión. A partir de la tabla No. 1 (ANEXO Cap.VI) se obtiene la siguiente información:

- La bomba no está integrada a la caldera
- La capacidad de la bomba necesaria es de 270 GPH
- Máxima succión a la línea central de la bomba = 17 pulgadas de mercurio

- De la gráfica No.3 (Del Anexo Cap. VI) se obtiene la elevación en pulgadas de mercurio equivalente.

Una elevación de 11 pies representa 9.4 pulgadas de mercurio

- Caída de presión a través de válvulas, filtros, conexiones, etc.

Se consideran 2 pulgadas de mercurio debido a pérdidas en válvulas, filtros y conexiones, etc., Para obtener la elevación de succión total, sumamos la altura obtenida de gráfica 3 y la considerada, para obtener 11.4 pulgadas de mercurio.

Y si para este caso tenemos una altura máxima de succión permisible de 17 pulgadas, la diferencia entre estos valores es:  $17 - 11.4 = 5.6$  pulgadas de mercurio

- Caída de presión a través de la línea de succión

Con la ayuda de la gráfica No. 4, de acuerdo al flujo de combustible que se va a manejar (en este caso 270 GPH) se determina la dimensión de la línea de succión.

Entonces, si se utiliza una tubería de 3 pulgadas se tendrá una caída de 2.5 pulgadas de mercurio por 100 pies de tubería y la caída total para la longitud de 110 pies es de:

$$(2.5 * 110)/100 = 2.8 \text{ pulgadas de mercurio}$$

El valor de la caída obtenida debe ser igual o menor que el valor de la diferencia obtenida en el inciso No.2. para este caso se puede ver que 2.8 pulgadas de mercurio es menor que el valor de la diferencia del inciso No.2 de 5.6 pulgadas de mercurio.

Por lo que la tubería de 3 pulgadas deberá ser usada a partir del tanque de almacenamiento a la bomba.



5. Resultado

La tabla No.2 (ANEXO Cap. VI) puede ser usada para obtener las dimensiones de la línea de la bomba a la caldera y la línea de retorno de la caldera al tanque.

Para este ejemplo, la línea de la bomba a la caldera se debe usar una tubería de 1 ½ pulgadas, y para la línea de retorno una tubería de 2 pulgadas.

**3.2 Línea de combustible ligero (Diesel)**

Debe tenerse presente la información dada para la parte de la línea de combustible pesado, excepto en las sugerencias importantes, que para este caso son las siguientes:

Sugerencias Importantes:

- a) La succión empleada sobre la bomba deberá ser:
  - A1. 10 pulgadas de mercurio o menos en el bloque de conexión de combustible cuando la bomba está integrada a la caldera.
  - A2. 12 pulgadas de mercurio o menos en la bomba, cuando está no esté integrada a la caldera.
- b) La más baja temperatura de bombeo que podríamos encontrar sería algo así como 40 °F (4.4 °C) a esta temperatura la viscosidad del combustible sería de 68 S.S.U.

Para ilustrar la manera de calcular las dimensiones para la línea de combustible ligero, se tiene el siguiente ejemplo (para sistemas con condiciones excedidas de: 10 pies de elevación y 100 pies de línea de succión):

**Ejemplo:** Determinar las dimensiones de la línea de combustible Diesel de una caldera modelo M-100-60. la elevación vertical es de 9 pies al bloque de conexión y habrá una línea de 110 pies de longitud a partir de la base de la tubería de succión al block terminal sobre la caldera.

Solución.

1. A partir de la tabla No.1 para una caldera modelo M-100-60 obtenemos la siguiente información:
  - La bomba esta integrada a la caldera
  - Su capacidad es de 30 GPH
  - Máxima altura de succión recomendada es de 10 pulgadas de mercurio en el block de conexiones
2. De acuerdo a la gráfica No.3 (ANEXO Cap. VI); 9 pies de elevación representan 6.8 pulgadas de mercurio, entonces:

Partiendo de 6.8 pulgadas de mercurio de elevación de succión, más 2 pulgadas de mercurio (debidas a pérdidas en válvulas, filtros, etc.). Se tienen un total de 8.8 pulgadas de mercurio. Si se tiene una máxima altura de succión de 10 pulgadas de mercurio y una elevación total de 8.8 pulgadas de mercurio. La diferencia es de: 1.2 pulgadas de mercurio de elevación de la línea de succión.
3. A partir de la gráfica No.4 (ANEXO Cap. VI) para 30 GPH, una tubería de ½ pulgada encontrará una caída de 2 pulgadas de mercurio por cada 100 pies de tubería.

Para una línea de 110 pies la caída será de:  $2 * 110/100 =$  2.2 pulgadas de mercurio





La caída a través de la tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgadas es mayor que la muestra disponible de 1.2 pulgadas de mercurio, lo cual nos indica que no podemos utilizar la tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

Tomando ahora una tubería de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, con el dato de 30 GPH de acuerdo a la gráfica No.4 tenemos que:

La caída por cada 100 pies de tubería es de 0.6 pulgadas de mercurio. Y tenemos para los 10 pies la línea:  $0.6 * 110/100 = 0.66$  pulgadas de mercurio, la cual es menor que el valor de 1.2 pulgadas de mercurio. Por lo tanto deberá ser usada una tubería de  $\frac{3}{4}$  de pulgada a partir del tanque de almacenamiento al block de conexión de la caldera y también para la línea de retorno al tanque.

### 3.3 Línea de alimentación de gas

Las líneas de suministro de gas combustible deben ser bien drenadas con separadores para que el condensado no se acumule y no interfiera el flujo de gas o arrastre de materiales extrañas, pues afectan la operación de los quemadores. Las líneas de suministro deben ser de un tamaño adecuado para el flujo máximo que se desea fluir sin demasiada caída de presión; en algunos casos que se instalan tanques separadores de la línea que llega a la planta; estos evitarán la suciedad o partículas de condensado que puedan ser llevadas por el gas; el mejor medio para remover el líquido acumulado en el tanque separador es una trampa o purga operada manualmente.

Recomendaciones.

Se debe instalar un regulador de presión de gas en la tubería de cada caldera. Se deben considerar las siguientes recomendaciones al seleccionar un regulador.

- El regulador debe tener un rango de presión equivalente al del sistema de distribución.
- Capacidad.- La capacidad del regulador debe ser 15% más de la cantidad de gas que puede quemar la caldera para que de una regulación adecuada.
- Ajuste del resorte.- El resorte deberá ser apropiado para ajustarse en un rango del 50% abajo y 50% arriba de la presión de regulación seleccionada.
- Precisión en cierre instantáneo.- El regulador debe incluir como característica de fabricación el conservar la presión regulada entre la caldera y éste, y no permitir que se eleve en lo más mínimo la presión cuando se interrumpe el flujo de gas.
- Regulador en paralelo.- Este tipo de instalación podrá ser usada si los requerimientos del volumen de gas son muy grandes y si la caída de presión deberá ser reducida a un mínimo.
- Regulador en serie.- Este tipo de instalación podrá ser usado si la presión del gas disponible es de 5.10 ó 20 lbs/pulg<sup>2</sup> man. Dependiendo de las características del regulador. Un regulador reducirá la presión a 2 o 3 lbs/pulg<sup>2</sup> man. Y el segundo regulador reducirá la presión necesaria del quemador.
- Ubicación del regulador.- Por ambos lados del regulador deberá haber tubería recta para asegurar una regulación adecuada. Esto es particularmente importante en los reguladores del piloto. El regulador puede ser localizado cerca de la conexión de gas, pero con 2 o 3 pies de tubería recta del lado de alta presión.

Arreglo típico de tuberías de gas en una caldera.

Las dimensiones de la línea de gas a partir del medidor al regulador de presión de gas a la caldera pueden ser muy importantes si la presión de gas es relativamente baja. Las dimensiones de la línea de gas dependen de:

- Presión del gas a la salida del medidor
- Flujo de gas requerido, CFH
- Longitud de la tubería
- Presión requerida en el punto de conexión



La presión del gas requerida en el punto de conexión sobre la caldera es mostrada en la gráfica No.4. La caída de presión y las dimensiones requeridas de la línea entre el medidor y la conexión del regulador de presión del gas, se determinan como se indicó en el Capítulo IV.

#### 4. COSTOS

El primer objetivo de todo usuario de calderas es tratar de producir el calor necesario en los puntos de consumo al menor coste posible. Para alcanzar este objetivo se deben analizar todos los parámetros que influyen en el consumo de combustible por ser el principal factor de coste en la producción de calor.

##### 4.1 Reducción de costos por consumo de combustible (Considerando eficiencia de calderas)

La mayoría de las calderas no tienen una eficiencia del 100%, ya que cerca del 20% del calor generado se pierde.

Las pérdidas de calor pueden aumentar hasta el 30% o más si la caldera no tiene un buen mantenimiento o no se opera correctamente.

La siguiente tabla muestra como dependiendo de la capacidad de la caldera y su eficiencia, se puede determinar el consumo de combustible.

| CAPACIDAD EN CABALLOS CALDERA | CONSUMO DE COMBUSTIBLE LIQUIDO, L/H A PLENA CARGA |        |       |       |       |
|-------------------------------|---|--------|-------|-------|-------|
|                               | 40%   | 50%    | 60%   | 70%   | 80%   |
| 15                            | 34.5  | 27.7   | 23.5  | 19.9  | 16.9  |
| 20                            | 46.0  | 37.0   | 31.0  | 26.5  | 22.6  |
| 30                            | 69.0  | 55.5   | 46.5  | 39.7  | 34.0  |
| 40                            | 94.0  | 74.0   | 62.0  | 53.0  | 45.4  |
| 50                            | 115.0   | 92.5   | 77.5  | 66.3  | 56.6  |
| 60                            | 138.0   | 111.0  | 93.0  | 79.5  | 67.8  |
| 70                            | 161.0   | 129.5  | 108.5 | 92.7  | 79.0  |
| 80                            | 184.0   | 148.0  | 124.0 | 106.0 | 90.5  |
| 100                           | 230.0   | 185.0  | 155.0 | 132.5 | 113.0 |
| 125                           | 292.0   | 232.0  | 194.0 | 166.5 | 141.3 |
| 150                           | 345.0   | 277.0  | 232.5 | 199.0 | 169.0 |
| 200                           | 460.0   | 370.0  | 310.0 | 265.0 | 226.0 |
| 250                           | 575.0   | 463.0  | 387.5 | 331.0 | 282.5 |
| 300                           | 690.0   | 555.0  | 465.0 | 397.0 | 340.0 |
| 350                           | 815.0   | 647.0  | 543.0 | 463.8 | 395.5 |
| 400                           | 940.0   | 740.0  | 620.0 | 530.0 | 454.0 |
| 500                           | 1150.0  | 925.0  | 775.0 | 663.0 | 566.0 |
| 600                           | 1380.0  | 1110.0 | 930.0 | 795.0 | 678.0 |

También, de acuerdo a ésta información de proveedor, se puede seleccionar una caldera en función de la eficiencia requerida.

Para ilustrar, se cita el siguiente ejemplo.



Ejemplo:

Una caldera de 100 CC, con un 40% de eficiencia, consume 230 L/h de combustible a plena carga, y a 60% de eficiencia, consume 155, entonces,

Si se compra una caldera de 100 CC con un 60% de eficiencia tenemos un ahorro de:

$230 - 155 = \underline{75 \text{ L/h de combustible}}$

#### 4.2 Análisis económico del costo para el cambio de combustible diesel a Gas LP o gas natural para una caldera

Para hacer el cambio de combustible, diesel a gas, se requieren cambiar e implementar una serie de accesorios, que en ocasiones resulta incosteable, por lo cual, cuando se piensa en cambiar el combustible a una caldera, la mayoría de las veces se cambia todo el sistema.

El tipo de combustible a quemar en la caldera depende básicamente del costo y la disponibilidad de estos, entre otros aspectos.

Para darse una idea de cual sería el costo actual para el cambio de diesel a gas en una caldera, se toma una cotización realizada anteriormente, para una caldera tipo tubo de humo, la cual indica lo siguiente:

1. Para la conversión de quemadores de calderas se tiene un costo = \$ 94,800
2. Y, tomando los índices de inflación desde el año de costeo, se obtiene un factor = 2.0
3. Por tanto, el costo actual es =  $94,800 \times 2.0 = \$ 189,600$

Aunque cabe aclarar, que realizando una estimación de este tipo se tiene un mas menos 30% de error, sin embargo; no deja de ser una buena alternativa como una primera aproximación al valor real.



## CAPÍTULO VII. MANIOBRAS FUNDAMENTALES INDUSTRIALES EN EL TRABAJO CON CALDERAS

### 1. MONTAJE DE CALDERAS

#### 1.1 Generalidades

En la práctica moderna de la ingeniería industrial, el objeto de la instalación de cualquier equipo, es obtener las óptimas condiciones de funcionamiento; es un hecho que ningún equipo es más bueno que la calidad de su instalación. Para la instalación de una caldera es necesario considerar una serie de limitaciones y conocer perfectamente los requerimientos necesarios para una instalación de este tipo de equipo. Para esto es siempre recomendable consultar al fabricante del equipo.

#### 1.2 Principales maniobras para la puesta sobre su base de la caldera

##### a) Alineación

Los trabajos de alineación se refieren a los movimientos que son necesarios hacer para que la caldera quede perfectamente alineada en relación a los muros interiores del cuarto de calderas a efecto de que le den estabilidad durante las etapas de arranque, operación y paro.

##### b) Nivelación

La nivelación incluye los ajustes que se deben hacer en la caldera para que quede perfectamente nivelada con respecto al piso, esto se logra con niveles de vigueta tipo gota.

##### c) Sistema de Trincheras y fosa de purgas

Son obras civiles que van cubiertas con rejilla Irving, antiderrapante y sirven para alojar tuberías y para recibir agua de lavado, limpieza y tuberías de purga. Las fosas de purgas son obras civiles diseñadas para recibir en una capa líquida las descargas de vapor y líquido de la caldera, de manera que, el tubo de descarga de las purgas siempre debe ir sumergido en líquido para que de este modo durante el trabajo de descarga de purgas proteja al personal de quemaduras y salpicaduras peligrosas.

#### 1.3 Selección del punto de instalación para el tiro de la chimenea

##### 1.3.1 Generalidades

La chimenea tiene por objeto descargar los productos de la combustión a una elevación suficiente a fin de evitar, en lo posible, las molestias inherentes. Mientras más alta sea la chimenea más efecto de tiro disponible para la extracción de los gases del horno. El tiro debe ser el suficiente para mantener una ligera succión en el horno cuando la caldera opere a pleno régimen, a no ser que esté diseñada para operar bajo presión. El diámetro de la chimenea y las dimensiones de los ductos que la conectan al horno deben ser tales que aseguren el flujo de los gases pero sin ocurrir en velocidades excesivas. La chimenea debe estar bien soportada y anclada a fin de resistir vientos fuertes, así como provistas de pararrayos y luces que la señalen a los aviones.

La mayoría de los gases de combustión forman depósitos que al enfriarse son corrosivos a los metales, por ésta razón, en caso de usar una chimenea metálica será indispensable dotarla con un revestimiento que evite la corrosión en la parte superior de la chimenea y el sobrecalentamiento en la porción inferior. La acción corrosiva de los gases depende de la cantidad de vapor de agua y bióxido de azufre, así como de la temperatura a la cual los gases son enfriados a su paso por la caldera.

Es también necesario que la chimenea y los ductos se diseñen tomando en cuenta la dilatación y contracción debidos a los cambios de temperatura. Antes de poner la chimenea en operación por primera vez debe ser cuidadosamente inspeccionada asegurándose que este libre de obstrucciones y que ha sido terminada sin grietas ni defectos. Se deberá seleccionar el punto de instalación para el tiro de la chimenea de manera que no toque algún miembro estructural de la



techumbre que impida la libre instalación de la chimenea, porque sucede que en muchas ocasiones el tiro de la chimenea pega con algún miembro estructural impidiendo así la libre descarga de los gases de combustión a la atmósfera.

### 1.3.2 Tiro de la chimenea

La diferencia de presión conocida corrientemente por tiro se suele expresar en milímetros o pulgadas de agua; su medición se hace por encima o por debajo de la presión atmosférica. El tiro es necesario para el funcionamiento del hogar de una caldera con el fin de poderle suministrar el aire necesario para la combustión del combustible y arrastrar los gases quemados hacia el exterior a través de la chimenea. El tiro puede ser natural y mecánico. El primero se produce térmicamente; el segundo mediante inyectores de vapor o ventiladores.

A1. Tiro natural. La diferencia de presión denominada tiro natural se produce por el efecto creado por una chimenea. Su valor depende de la altura de la boca de la chimenea sobre el nivel del emparrillado del hogar, y de la diferencia media de temperatura entre la de los gases quemados contenidos en la chimenea, y la del aire del exterior. El tiro natural no consume energía mecánica y se utiliza en donde las calderas no han de desarrollar grandes producciones de vapor con gran rapidez.

A2. Tiro mecánico. El tiro creado por la acción de inyectores de aire o vapor, o mediante ventiladores, se conoce como tiro mecánico, el cual se requiere cuando deba mantenerse un determinado tiro con independencia de las condiciones atmosféricas y del régimen de funcionamiento de la caldera. Asimismo, es necesarios cuando resulta insuficiente el tiro natural proporcionado por la chimenea. En términos generales, el tiro mecánico se utiliza cuando las calderas tienen que trabajar a un régimen más grande del normal, o cuando tienen que abastecer rápidamente demandas de vapor repentinas.

Las calderas equipadas con tiro mecánico no necesitan chimeneas tan altas y costosas como las exigidas con tiro natural. Sin embargo, algunas veces se instalan chimeneas altas por cuestiones reglamentarias, o para que los humos, gases y cenizas que salen por ellas no puedan molestar a los propietarios próximos a las mismas.

Existen dos tipos de tiro mecánico:

- Tiro forzado. Se obtiene soplando aire en el interior de los hogares herméticos debajo de las parrillas y hogares mecánicos, o a través de quemadores de carbón pulverizado. El aire es introducido a presión y atraviesa el lecho de combustible para llegar hasta la cama de combustión del hogar. Tratándose de tiro forzado, la técnica seguida consiste en evacuar los productos de la combustión de la caldera propiamente dicha por tiro natural, o inducido, o combinación de los dos.
- El tiro inducido se consigue con un ventilador colocado en los humerales, entre las calderas y la chimenea, o en la base de ésta. El efecto del tiro inducido consiste en reducir la presión de los gases en la cámara de la caldera por debajo de la presión atmosférica y descargar los gases a la chimenea con una presión positiva.

## 2. ARRANQUE, OPERACIÓN Y PARO DE CALDERAS

Antes de operar la caldera se deben realizar ciertas preparaciones como son: Eliminar materiales extraños de las partes de presión; puertas de acceso cerradas; válvulas a los quemadores cerradas; válvula de regulación de agua de alimentación cerrada, válvula principal en la línea de vapor cerrada; venteos de domo abiertos; válvula indicador de nivel abierta; purga de la línea principal de vapor abierta.



### Arranque

1. Abrir la válvula de agua de alimentación de entrada a la caldera. Mantener la válvula del venteo del domo de vapor completamente abierta.
2. Subir el switch para el suministro de energía eléctrica
3. Arrancar la bomba de alimentación de agua a la caldera. Cuando el agua llegue a la línea más baja del medidor de nivel del domo de vapor, parar la bomba de alimentación de agua.
4. Abrir las válvulas para purgar la caldera cuando se requiera para mantener el nivel de agua en domo.
5. Abrir la válvula para suministro de combustible
6. Observar la mirilla para el encendido de electrodos
7. observar el manómetro de la Presión de vapor

Como nota importante, antes de encender, el operador debe checar el nivel de agua en la caldera purgando la columna de agua y para el indicador de cristal una purga prolongada servirá para eliminar cualquier materia que esté presente y limpiar los asientos de la válvula. Este procedimiento debe repetirse varias veces durante el encendido.

### Operación

1. Observar la mirilla para revisar fuego
2. Revisar que el nivel de agua de la columna se mantenga constante
3. Esperar 20 minutos para producir el vapor después del arranque

En esta sección es importante estar revisando constantemente el nivel del agua; el agua debe mantenerse cerca del centro del indicador y los ajustes del nivel deberán hacerse en forma gradual, porque si el nivel de agua es demasiado alto puede haber arrastres, especialmente si la demanda de vapor es grande y con fluctuaciones rápidas. Si se presentan los arrastres debe bajarse el nivel, usando libremente las purgas y alimentando manualmente, manteniendo éste con cuidado para evitar que descienda. La inspección del nivel, cuando la caldera esta en operación, debe hacerse cuando menos una vez por hora.

### Paro

1. Abrir la válvula de vapor
2. Abrir la válvula de seguridad 2 veces para liberar presión
3. Purgar la caldera
4. Cerrar la válvula de suministro de combustible
5. Bajar el switch de suministro de energía.

### 3. MANTENIMIENTO DE CALDERAS.

Para mantener la caldera en condiciones apropiadas y seguras para su operación así como para prolongar la vida útil de esta máquina, se debe tener presente que se tienen que programar una serie de actividades y trabajos a realizar para lograr dichos objetivos, a lo cual llamamos mantenimiento.

#### a) Trabajos a realizar

Toda programación de mantenimiento debe basarse en primer término de trabajos de inspección a efecto de identificar los puntos de falla declaradas o por declararse en la caldera, de tal manera que se pueda precisar de una manera práctica los trabajos mecánicos, eléctricos y operacionales de esta máquina térmica.



b) Frecuencia

Es el tiempo en el cual se estarán programando realizar los trabajos para el mantenimiento a la caldera.

c) Orden de Trabajo

La orden de trabajo es un formato que debe llenarse para requerir la necesidad de reparación de una máquina, equipo o instalación. En este documento se tiene que especificar el nombre de quien emite la orden, fecha, hora en que se emite y después, nombre de quien recibe y fecha y hora. Para tal efecto se anexa un programa de trabajo basado en las recomendaciones de los fabricantes de calderas y de la experiencia durante las etapas de arranque, operación y paro.

A continuación se plantea un programa de mantenimiento para una caldera tipo tubo de humo, y en el Anexo correspondiente al capítulo se presenta información tomada de proveedor, la cual trata de la manera en la que se calienta el agua y las distintas acciones que se pueden emprender para reducir costos ya que, los ahorros obtenidos calentando el agua eficientemente contribuirán a aumentar los beneficios.

Un programa de mantenimiento se realiza por razones de seguridad, puesto que las calderas deben ser conservadas en la mejor condición posible.

| TRABAJOS POR REALIZAR   | FRECUENCIA Y/O CUANDO SE NECESITE |              |             |           |          |           |           |          |
|---|-----------------------------------|--------------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
|   | DIARIO                            | C/TERCER DIA | C/OCHO DIAS | C/15 DIAS | CADA MES | C/3 MESES | C/6 MESES | CADA AÑO |
| <b>MECÁNICOS</b>  |                                   |              |             |           |          |           |           |          |
| Limpia las boquillas del quemador   | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Comprobar el nivel del lubricante para el compresor en el tanque aire-aceite.   | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Purga la caldera  | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Comprobar que las presiones indicadas por los manómetros a la entrada y a la salida de combustible y en la válvula medidora son las fijadas en el manual de operación.  | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Comprobar si la presión de aire de atomización es la correcta   | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Comprobar que la trampa del calentador de vapor opera correctamente   | ■                                 | ■            |             |           |          |           |           |          |
| Limpia los filtros de combustible en la succión de la bomba   | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Comprobar que no hay fugas de gases ni de aire en las juntas de ambas tapas y mirillas trasera.   |                                   |              | ■           |           |          |           |           |          |
| Comprobar la tensión de la banda al compresor   |                                   |              | ■           |           |          |           |           |          |
| Limpia el filtro de lubricante pegado al compresor  |                                   |              | ■           |           |          |           |           |          |
| Lavar los filtros, tanto el de entrada a la bomba como el de entrada de agua al tanque de condensados.  |                                   |              | ■           |           |          |           |           |          |
| Limpia el electrodo del piloto de gas   |                                   |              | ■           |           |          |           |           |          |
| Comprobar que los interruptores termostáticos del calentador del combustible operan a la temperatura a que fueron calibrados al hacer la puesta en marcha   |                                   |              | ■           |           |          |           |           |          |
| Inspeccione los prensa estopos de la bomba de alimentación de agua  |                                   |              | ■           |           |          |           |           |          |
| Hacer la limpieza de los filtros de agua, aceite, combustible y aceite lubricante   |                                   |              |             | ■         |          |           |           |          |
| Destapar los tortugas para ver el estado de limpieza interior por el lado del agua  |                                   |              |             |           |          | ■         |           |          |
| Cada vez que se desholine es conveniente para la mejor conservación del refractario, darle una lechada con cemento refractario, tapa trasera como al refractario del horno.   |                                   |              |             |           |          | ■         |           |          |
| Revisar los empaques y recubrir con grafito y aceite  |                                   |              |             |           |          | ■         |           |          |
| Comprobar el nivel de aceite de reductor de la velocidad de la bomba de combustible   |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Revisar los empaques del prensa-estopa de la bomba de alimentación de AGUA. En caso de encontrarse secos, cámbiese por nuevos   |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Inspeccione los fluxes por el lado del hollín y límpiese de ser necesario   |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Revise sus bandas de transmisión, deles su tensión apropiada  |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Lavar la caldera interiormente  |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Se refrescan las cuerdas al tornillo de las tortugas y se les pone grafito con aceite para que no se peguen   |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Relubricar los baleros sellados de las transmisiones o motores.   |                                   |              |             |           |          |           |           | ■        |
| Repónganse los sellos cuidadosamente, reemplácense los baleros defectuosos o los que se tenga duda  |                                   |              |             |           |          |           |           | ■        |
| <b>ELECTRICOS</b>   |                                   |              |             |           |          |           |           |          |
| Asegúrese que la fotocelda este limpia, así como el conductor en donde se encuentre colocada  |                                   |              |             | ■         |          |           |           |          |
| Comprobar el voltaje y cargas que toman los motores   |                                   |              |             |           | ■        |           |           |          |
| Limpieza general a los contactos de fireye y de más arrancadores con un trozo de género limpio, humedecido con tetracloruro de carbono  |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Limpia el calentador eléctrico y el de vapor para combustible, así como sentar la válvula de alivio y la reguladora de presión  |                                   |              |             |           |          |           |           | ■        |
| <b>OPERACIONALES</b>  |                                   |              |             |           |          |           |           |          |
| Comprobar la temperatura de los gases de la chimenea  | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Probar la operación por falla de flama  | ■                                 |              |             |           |          |           |           |          |
| Revisar las condiciones del quemador, presión, temperatura, etc   |                                   |              |             | ■         |          |           |           |          |
| Checar los niveles de entrada y para de la bomba haciendo uso de las válvulas de purga de fondo de la caldera   |                                   |              |             | ■         |          |           |           |          |
| Comprobar que los niveles de agua son los indicados.<br>58 mm (2 1/4") de nivel máximo<br>45 mm (1 3/4") arranque de la bomba<br>32 mm (1 1/4") corte por bajo nivel  |                                   |              |             |           | ■        |           |           |          |
| Comprobar el bajo nivel. Asegurarse de un correcto funcionamiento del flotador estando la columna exenta de todos o acumulaciones.  |                                   |              |             |           | ■        |           |           |          |
| Observar la temperatura del termómetro de salida de gases de la chimenea de la caldera, cuando tenga 80 °C por arriba de la temperatura del agua en el interior y de ahí en adelante indica que la caldera esta hollinada y hay que proceder a limpiarla. |                                   |              |             |           |          | ■         |           |          |
| Revisar los palancas de las válvulas de seguridad para evitar que peguen en su asiento.   |                                   |              |             |           |          | ■         |           |          |
| Antes de tres meses de efectuada la puesta en marcha inicial de la caldera y después, según las condiciones lo requieran, la caldera deberá ser enfiada y secada, las cubiertas quitadas y el interior debe ser lavado con agua presión.                  |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Tubos y espejos deberán ser inspeccionados al mismo tiempo para buscar incrustaciones.  |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Inspeccione el material refractario del horno y la puerta trasera   |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Limpie las grietas y saque el material refractario que se haya desprendido. Recubra el mismo con un cemento refractario de fraguado al aire   |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Comprobar la limpieza de las columnas de control y de las entradas de agua de la bomba de alimentación y el inyector  |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Comprobar y lavar los pressuretroles, toda la línea de los mismos y la línea del manómetro  |                                   |              |             |           |          |           | ■         |          |
| Revisar el estado en que se encuentran todas las válvulas de la caldera, asentarias si es necesario y si no se puede cambiarlas por otras nuevas  |                                   |              |             |           |          |           |           | ■        |
| Vacíe y lave con algún solvente apropiado en tanque aire-aceite así como todas las tuberías de aire y de aceite que de el salgan, procurando que al reponerlas queden debidamente oprimadas   |                                   |              |             |           |          |           |           | ■        |

APROBADO POR:  
ING. A. ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ  
JEFE DE DEPTO. ING. QUÍMICA  
FIRMA: [Firma] FECHA: [Fecha]  
ING. BALDOMERO PÉREZ GARCÍA  
ASESOR DE TEMA DE TESIS  
FIRMA: [Firma] FECHA: [Fecha]  
BEATRIZ SANTIAGO TORRES  
SUSTENTANTE DE TESIS  
FIRMA: [Firma] FECHA: [Fecha]



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

DIBUJO ELABORADO EN MÉXICO, D.F. FECHA: NOV. 2003

DIBUJO B.S.T. NOV/03  
PROY. B.S.T. NOV/03  
REV. B.P.G. NOV/03  
APROB. JAOR NOV/03  
ESC.: SH ACOT. SH

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO  
CALDERA TIPO TUBO DE HUMO

CD. UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F.





## CAPÍTULO VIII. VAPOR DE AGUA Y SU USO EFICIENTE EN LA INDUSTRIA

### 1. LINEAS DE VAPOR

El flujo del vapor depende de la diferencia de presiones en la tubería, de la resistencia de la tubería al flujo y de las características físicas del vapor.

Al decidir el tamaño que debe tener una línea de vapor, hay solo tres consideraciones (independientemente del costo) que son:

- a) Caída de presión permitida en la tubería
- b) Velocidad que se le deberá permitir al vapor
- c) Tamaño comercial más adecuado

Las velocidades razonables para el flujo del vapor en tuberías, se muestran en la tabla siguiente.

| Características del vapor         | Velocidad (pies/min) |
|-----------------------------------|----------------------|
| Vapor de agua al alto vacío       | 12000 – 18000        |
| Vapor de agua a un vacío moderado | 9000 – 12000         |
| Vapor de escape (húmedo)          | 4200 – 6000          |
| Vapor saturado seco               | 6000 – 9000          |
| Vapor sobrecalentado              | 9000 – 12000         |
| Agua                              | 4200 – 4800          |

### 2. CAÍDAS DE PRESIÓN EN LAS LÍNEAS DE VAPOR

La determinación de la caída de presión se obtendrá por cada 100 pies de tubería a partir de los datos siguientes:

- Dimensiones de la tubería de distribución de vapor (diámetro)
- Flujo del vapor en lbs/hr
- Presión del flujo

Para obtener las dimensiones de una tubería a partir de una caída de presión previamente establecida se requieren los siguientes datos:

- Cédula de la tubería
- Presión del flujo de vapor
- Caída de presión por cada 100 pies previamente establecida

**Ejemplo:** Si tenemos una tubería de distribución de vapor de 6 pulgadas cédula 40 con una carga de vapor de 15 000 lbs/hr a una presión de 20 lbs/pulg.

Solución.

1. De acuerdo al diagrama I CP del Anexo (Cap. VIII) y con los datos de 15000 lbs/hr de vapor y 6 pulgadas cédula 40, se lee una caída de presión (por cada 100 pies) de:

$$0.52 \text{ lbs/pulg}^2$$

2. Esta sería la caída de presión si la presión del vapor fuera de 100 lbs/pulg<sup>2</sup>, pero como la presión es de 20 lbs/pulg<sup>2</sup>, se usa el factor de corrección correspondiente a esta, tomado del mismo diagrama.



Factor de corrección = 3.1

3. finalmente la caída de presión real (por cada 100 pies para 20 lbs/pulg<sup>2</sup>) es:

$$0.52 \times 3.1 = \underline{1.612 \text{ lbs/pulg}^2}.$$

### 3. DRENADO DE TUBERÍAS PRINCIPALES DE VAPOR

En toda tubería de vapor las cargas de condensado más grandes ocurren durante el periodo de calentamiento.

Un drenaje eficiente de condensado y un sistema de trampas de vapor inadecuadas provocan:

- Control deficiente de temperatura
- La formación del golpe de ariete en la tubería, en detrimento de la vida útil de la misma
- Corrosión en los equipos, etc.

Para un eficiente drenado de una tubería de vapor es recomendable el uso de ciertos equipos como son:

- Válvulas reductoras de presión
- Trampas
- Controles de temperatura y otras válvulas automáticas de vapor

Así como también una serie de consideraciones como son:

- Método de calentamiento de la tubería
- Proporcionar los depósitos adecuados para la recepción de condensados
- Selección apropiada del equipo
- Tener una buena instalación

Es importante para el drenado eficiente de tuberías de vapor, la utilización de trampas de vapor y la colocación de depósitos adecuados para la retención de condensados (piernas colectoras). Las piernas colectoras deberán colocarse en todos los puntos bajos del drenaje y dondequiera que pueda haber acumulación de condensado, por ejemplo:

- Al final de tuberías principales
- Al fondo de tuberías verticales
- Delante de uniones de expansión
- Delante de válvulas reductoras de presión y reguladores de temperatura
- Separadores de humedad
- En instalaciones que tengan tuberías muy largas de vapor es recomendable colocar trampas de vapor en intervalos entre 200 y 500 pies.

La longitud de las piernas colectoras no deberá ser menor de 1 ½ veces su diámetro y no menor de 8", y el diámetro de éstas deberá ser el mismo de la tubería de vapor y nunca menor que el diámetro de éstas deberá ser el mismo de la tubería de vapor y nunca menor que el diámetro de la tubería más pequeña.

#### 3.1 Determinación de cargas de condensado

La carga de condensado en un periodo relativamente largo de tiempo, puede ser determinada usualmente, a partir de los consumos de vapor de los equipos a ser drenados. Sin embargo, la carga real instantánea puede ser mucho mayor que el consumo de los equipos.



Pueden hacerse algunas suposiciones en relación al porcentaje de trampas que descargarán simultáneamente. Si las trampas están operando a una carga relativamente ligera, puede suponerse que un 20% estará descargando simultáneamente; si la carga es la de tipo mediano, puede suponerse un 40% y en cargas muy pesadas será un 60 o 70% de las trampas, las que descargarán simultáneamente.

Por lo tanto, al determinar el tamaño de las líneas de retorno de condensados, deberemos tomar la capacidad nominal de las trampas y multiplicarla por el número de trampas que estarán descargando en forma simultánea para determinar la carga real de condensados.

#### 4. LÍNEAS DE RETORNO DE CONDENSADOS

Cuando se descarga condensado caliente en una línea de retorno, cierta parte "flashea" y se convierte en vapor. Usualmente, el volumen de vapor es mucho mayor que el volumen de agua, y para evitar presiones excesivas y deterioro en las líneas de retorno, las dimensiones de la línea deben ser tal que se maneje el volumen de mezcla a una velocidad razonable; usualmente 5000 pies/min, es aceptable.

Para calcular la línea de retorno de condensados, es necesario tener los siguientes datos:

- Presión del vapor
- Tamaño de la línea
- Presión en la línea de retorno
- Cargas de condensados

#### 5. TRAMPAS DE VAPOR

Una trampa de vapor, es una válvula automática, que realiza las funciones siguientes:

- a) Drenar el condensado formado
- b) Eliminar el aire y los gases incondensables
- c) Eliminar cualquier suciedad presente en el vapor y/o los condensados
- d) No permitir el escape del vapor

Muchos, por no decir la gran mayoría de los problemas en los sistemas de vapor, se originan por fallas en el sistema de drenaje. Las fallas más comunes son:

- a) No usar trampas de vapor
- b) Usar una trampa de tamaño inadecuado
- c) Usar un tipo de trampa no adecuado

Tomando como base su principio de operación, las trampas de vapor se clasifican en tres tipos básicos, los cuales son:

##### a) Trampas mecánicas

Las trampas mecánicas son aquellas que funcionan detectando las diferencias de densidad que existen entre el vapor y el condensado. Entre ellas, podemos señalar a las trampas combinadas de flotador termostáticas y a las trampas de cubeta invertida.

##### b) Trampas termostáticas

Las trampas termostáticas son aquellas que funcionan detectando la diferencia de temperatura entre el vapor y condensados que se ha enfriado. Son de tipo fuelle o de tipo bimetálico.

##### c) Trampas termodinámicas

Las trampas termodinámicas son en realidad unas válvulas cíclicas, ya que se basan en el cambio de estado que sufre el condensado.



|                             | Trampas mecánicas |              | Trampas termostáticas | Trampas termodinámicas |
|-----------------------------|-------------------|--------------|-----------------------|------------------------|
| Tipo de operación           | Continua          | Intermitente | Intermitente          | Intermitente           |
| Capacidad de manejo de aire | Excelente         | Buena        | Excelente             | Mala                   |
| Respuesta                   | Inmediata         | Inmediata    | Buena                 | Lenta                  |
| Problemas por contrapresión | No                | No           | No                    | Sí                     |
| Manejo de suciedad          | Buena             | Excelente    | Regular               | Mala                   |
| Capacidad de purga          | Regular           | Buena        | Buena                 | Buena                  |
| Acumulación de condensados  | No                | No           | Sí                    | Sí                     |
| Duración                    | 2 a 3 años        | 5 a 10 años  | 2 a 3 años            | 1 año                  |

### 5.1 Las piernas colectoras

Sin considerar el tipo y método del calentamiento usado, deberá proporcionarse un depósito o pierna colectoras para que el drenado de las trampas sea efectivo y la instalación segura. Si sabemos que una trampa de vapor puede descargar solamente condensado éste deberá descargarse dentro de las piernas colectoras y éstas deberán proporcionarse en todos los puntos inferiores de drenaje y donde quiera que el condensado pueda ser colectado, por ejemplo:

- Antes de elevaciones (Bajantes)
- Al final de las líneas de distribución
- Delante de juntas de expansión y omegas
- Delante de válvulas reductoras de presión y temperatura, reguladores de temperatura, etc.

Las piernas colectoras tienen tres funciones básicas.

- a) Permitir que el condensado escape por gravedad, con vapor en movimiento.
- b) Permitir que el condensado se acumule hasta que exista una presión positiva que permita operar.
- c) Proporcionar una presión estática (cada 28 pulgadas dan 1 lbs/pul<sup>2</sup>) que permitan a las trampas de descargar antes de que exista una presión positiva en el sistema.

La longitud de una pierna colectoras deberá ser 1 ½ veces el diámetro de la tubería y no menor de 8 pulgadas. Preferentemente el diámetro de las piernas colectoras debe ser el mismo que el de la tubería de vapor, pero no menor que dicho diámetro.

### 5.2 Selección del Tamaño de Trampas para Vapor.

El tamaño necesario de una trampa de vapor para una aplicación dada, puede ser determinado en tres etapas:

- A. Se obtiene la información necesaria, como es:
  - La carga máxima de condensado en libras por hora
  - Presión a la entrada de la trampa
  - Contra-presión contra la cual debe operar la trampa



B. Aplicar un factor de seguridad

La relación entre la capacidad de descarga máxima de vapor y la carga de condensado esperada debe manejarse con un factor de seguridad, este es influenciado por:

- Características de operación de la trampa
- Exactitud de la carga de condensado
- Condiciones de presión a la entrada y salida de la trampa

C. Seleccione el tipo adecuado de trampa

Utilice las tablas de capacidad de los fabricantes para elegir el tamaño de la trampa. Asegúrese que las tablas de capacidad estén basadas bajo condiciones reales de operación con condensado caliente y no con agua fría.

## 6. VENAS DE VAPOR

Una labor importante del vapor es hacer que los productos sean fácilmente manejables. El bombeo de fluidos viscosos en una red de tubería puede convertirse en una función extremadamente difícil o imposible, si la temperatura de ellos cae por abajo de cierto nivel.

Una severa y prolongada caída de temperatura puede dar como resultado una solidificación del fluido en la tubería, pudiéndose requerir que una sección de la tubería sea retirada y limpiada o en algunos casos reemplazada para que la tubería pueda ser puesta en servicio. Para evitar esto se debe suministrar calor al fluido en forma eficiente.

### 6.1 Usos de las venas de vapor.

Las venas de vapor son uno de los métodos más prácticos usados para proporcionar calor adicional a líneas de proceso y proteger productos, instrumentos, válvulas y controles automáticos. Un sistema de venas de vapor puede ser usado para prevenir, congelamiento, solidificación, separación o excesivo incremento de la viscosidad del producto, esto es particularmente importante en líneas que no pueden ser limpiadas mediante chorros de agua, purgadas o drenadas mientras la línea de producto o proceso esté funcionando.

En términos simples, las venas de vapor consisten en la aplicación de vapor a ciertas áreas que lo requieren por medio de conductos de pequeño diámetro los que permiten que el contorno de la línea de producto o equipo proporcione el nivel de calor requerido.

### 6.2 Tres Métodos para la Instalación de Venas de Vapor

Estos son: Método interno, externo y enchaquetamiento.

#### a) Método Externo de venas de vapor

El método externo de venas de vapor es obtenido mediante una corriente paralela a la línea del producto en forma individual múltiple o enrollada dependiendo de la cantidad de calor requerido para la protección del producto.

Si es requerida una cantidad muy pequeña de calor, el trazo de la vena de vapor es frecuentemente aislada a través de la línea de producto. Para requerimientos mayores de calentamiento se utilizan venas de vapor múltiples.

#### b) Sistema Interno de Venas de Vapor

Este es usado en tuberías de gran diámetro o donde los requerimientos de calor adicionales son elevados. En este tipo de venas de vapor la línea de producto contiene una tubería recta o serpentin de vapor en el centro y a lo largo de la tubería de producto.



## c) Método de enchaquetamiento

Uno de los métodos, más ampliamente usados de venas de vapor es mediante el enchaquetado de la línea de vapor, en la cual la línea del producto recorre a través de una línea adicional de vapor. Este método es particularmente usado en aplicaciones en las cuales la carga de calentamiento es elevada.

**6.3 Distancia entre trampas de vapor en instalaciones con venas de vapor**

En instalaciones con trampas de vapor; un espaciamiento apropiado de trampas de vapor puede tener un efecto considerable sobre el funcionamiento de la instalación.

La siguiente tabla muestra las distancias sugeridas entre las trampas de vapor. Consecuentemente el espaciamiento variará a partir de los valores mostrados, dependiendo también de los requerimientos de temperatura y condiciones del ambiente.

| <b>TABLA VIII.C</b>  |                           |               |                |
|--|---------------------------|---------------|----------------|
| <b>Distancias sugeridas entre trampas de vapor en trazado de líneas usando trampas de 3/8 de pulg.</b> |                           |               |                |
| <b>Presión del vapor a la entrada de la línea</b>  | <b>Tamaño de la línea</b> |               |                |
|  | <b>½ pulg</b>             | <b>¾ pulg</b> | <b>1 pulg.</b> |
|  | <b>Distancia entre</b>    |               |                |
| 15 a 50 lbs/pulg <sup>2</sup>  | 75 pies                   | 100 pies      | 125 pies       |
| 50 a 150 lbs/pulg <sup>2</sup>   | 150 pies                  | 175 pies      | 200 pies       |
| 150 a 200 lbs/pulg <sup>2</sup>  | 200 pies                  | 225 pies      | 250 pies       |

**7. VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN**

En operación, una válvula reductora de presión permite, una presión menor a la salida de ella, que la presión de entrada. La diferencia de presión genera una elevación de la velocidad del vapor a través de la válvula, y en la mayoría de las instalaciones de válvulas reductoras se alcanza la velocidad del sonido. Las velocidades extremas que se producen no deben tolerarse en tuberías de suministro a las válvulas y principalmente a través de ellas.

Para seleccionar una válvula reductora de presión se requieren los siguientes datos:

- Presión del vapor (antes de la válvula) lbs/pulg<sup>2</sup> manométricas
- Flujo del vapor en lbs/hr
- Presión de salida lbs/pulg<sup>2</sup> manométricas

Es importante también la selección adecuada del tipo de resorte que debe utilizarse, de acuerdo a su color y al rango de reducción de presión de cada caso.

| <b>TABLA VIII.D</b>                                    |               |
|--|---------------|
| <b>RANGOS DE RESORTE</b>                               |               |
| <b>Reducción de Presión (lbs/pulg<sup>2</sup> man)</b> | <b>Color*</b> |
| 3 a 30   | Amarillo      |
| 20 a 100   | Azul          |
| 30 a 200   | Rojo          |

\* El color de estos resortes es de acuerdo a la marca SARCO.

Las dimensiones de la tubería antes y después de la válvula reductora de presión se obtiene con los siguientes datos:

- Flujo de vapor
- Presión del vapor



- Velocidad permisible

### 8. AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Los productos más comúnmente utilizados para fines de aislamiento son los fabricados a base de fibra de vidrio y a base de lana mineral.

Se usan para controlar temperaturas en el proceso, para conservación de energía, para la protección del personal.

Para fines industriales actualmente se cuenta en el mercado con los siguientes productos recomendables.

Tabla VIII.E. Aislamientos Térmicos

| Material Aislante                              | Características Generales  | Temperatura de operación                                 | Características Físicas   |
|--|--|--|---|
| Fibra de vidrio                                | Aislamiento preformado para tuberías que se fabrica con fibra de vidrio aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico, moldeada para ajustarse a la superficie de la tubería.             | Desde - 84 °C hasta 232 °C (120 °F hasta 450 °F)         | <b>Conductividad Térmica:</b> 0.0278 Kcal m /m <sup>2</sup> h °C) a 75 °F<br><b>Densidad:</b> 88.1 Kg/m <sup>3</sup><br><b>Absorción de humedad:</b> 0.2% por volumen en 96 h, a 120 °F y 95% H.R.<br><b>Corrosión de acero y aluminio:</b> No se provoca o acelera<br><b>Calor específico:</b> =.20 BTU/lb°F<br><b>Valor de permeancia al vapor de agua:</b> Con recubrimiento de Pyrokure, 0.01 granos/h pie <sup>2</sup> por pulgada de Hg.<br><b>Capilaridad:</b> Despreciable (después de 24 h)<br><b>Difusividad térmica:</b> 0.015 pies <sup>2</sup> /h a 24°C de temperatura promedio |
| Fibra de vidrio blanca y/o colchonetas armadas | Producto de color blanco semejante algodón consistente en fibra de vidrio impregnada con muy pequeñas cantidades de aceite lubricante que lo hace manejable y le da resistencia a la abrasión. | Hasta de 538°C   | <b>Temperatura máxima:</b> 538 °C (1000 °F)<br><b>Conductividad Térmica:</b> Varía de 0.275 a 0.226 BTU pulg/hr.pie <sup>2</sup> °F, de acuerdo a las variaciones de densidad de 0 a 3 lbs/pie <sup>3</sup> (16 a 48 Kg/m <sup>3</sup> )<br><b>Calor específico:</b> 0.20 BTU/lb °F<br><b>Absorción de humedad:</b> Menos de 2% en volumen durante 96 hrs. a 120 °F y 95% R.H.<br><b>Resistencia a la vibración:</b> No sufre deterioración<br><b>Difusividad Térmica:</b> 0.015 pie <sup>2</sup> por hr a 75°F   |
| Aislamientos rígidos y Semi-rígidos            | Son fabricados con fibra de vidrio aglutinada con una resina fenólica de fraguado térmico  | Para temperaturas de operación desde - 84°C hasta 232 °C | <b>Conductividad Térmica:</b> Varía de acuerdo a la rigidez del material. Materiales rígidos: K = 0.23 a 0.243 BTU pulg/hr pie <sup>2</sup> °F (0.027 a 0.030 Kcal m /hr m <sup>2</sup> °C), a una temperatura promedio de 24°C.<br>Materiales semi-rígidos, K = 0.029 a 0.038 kcal m/hr m <sup>2</sup> °C a una temperatura promedio de 24°C.<br><b>Densidad,</b> semirígidos de 16 a 32 Kg/m <sup>3</sup> , rígidos varían de 64 a 96 Kg/m <sup>3</sup> .<br><b>Absorción de humedad:</b> Menos de 0.2% por volumen durante 96 hrs a 49°C y 95% H.R.  |



Tabla VIII.E. Aislamientos Térmicos (Continuación)

| Material Aislante                               | Características Generales  | Temperatura de operación  | Características Físicas   |
|---|--|---|---|
| Productos a base de lana mineral                | Fibra mineral inerte que en cualquiera de sus formas: afelpada (colchoneta) o nodular suelta, tiene excelentes propiedades térmicas.           | Debido a las características específicas de la fibra que la compone, soporta temperaturas hasta de 1000 °C antes de reblandecerse | <b>Incombustibilidad:</b> Las fibras minerales no causan ni producen flama.<br><b>No sufren deterioro:</b> La lana mineral no sufre descomposición o deterioro con el tiempo, ni lo ataca ni causa la corrosión.<br><b>Resistencia a la humedad:</b> Las fibras minerales no absorben la humedad. Si se llegan a mojar, secan rápidamente con ventilación adecuada y recuperan sus propiedades térmicas originales.<br><b>Estabilidad dimensional:</b> la lana mineral no muestra encogimiento o fusión de las fibras a temperaturas superiores a los 650 °C, hasta cercanas a los 1000 °C. |
| Productos a base de lana mineral (continuación) | La lana mineral granulada consiste de fibras sueltas de origen mineral vítreo con alto punto de fusión y formada en nódulos de tamaño pequeño. |   | <b>Aislamiento térmico y acústico:</b> la lana mineral tiene excelentes propiedades acústicas además de térmicas. Los materiales acústicos absorbentes toman energía de las ondas sonoras y las convierten en calor. Conforme la lana mineral toma la energía y la convierte a base de fricción entre las fibras, se produce una reducción en el sonido transmitido.<br><b>Densidades:</b> Tipo industrial Normal de 192 Kg/m <sup>3</sup><br>Tipo ligero de 96 Kg/m <sup>3</sup> .<br><b>Absorción de humedad:</b> Inferior a 1% a 50 °C   |
| Bloque aislante                                 | Producto moldeado a base de lana mineral y aditivos especiales, es rígido y  | Diseñado para trabajar a temperaturas hasta de 1035 °C aplicadas por una sola cara.   | <b>Pérdidas por ignición:</b> 8.7% a 1035 °C<br>Absorción de humedad ambiente casi nula<br>Temperatura de trabajo máxima: 1035 °C por una cara<br>Módulo de ruptura: 7.52 Kg/cm <sup>2</sup><br>Densidad: 300 a 350 Kg/m <sup>3</sup><br>Encogimiento lineal: 0.84%<br>Encogimiento Volumétrico: 2.7%   |
| Cemento aislante (Tipo normal)                  | Es un material aislante para emplearse en trabajos generales de aislamiento o como material de relleno, o como resane para mantenimiento.      | Diseñado para trabajar a temperaturas hasta de 980 °C en una cara.  | Encogimiento: Volumétrico 15% aproximadamente al secar. Lineal 3% a 1800 °F.<br>Rendimiento: 17 Kg/m <sup>2</sup> aplicado a un espesor de 25 mm<br>Conductividad térmica a temperaturas medias:<br>A 93 °C, 0.60 (BTU.pulg/pies <sup>2</sup> hr. °F)<br>A 204, 0.65<br>A 316, 0.75   |
| Cemento aislante de acabado                     | Es un material aislante de gran dureza cuya formulación permite dar un acabado resistente a los aislamientos.                                  | La temperatura límite de trabajo del cemento aislante de acabado es de 650°C en una cara  | Encogimiento. Casi nulo<br>Rendimiento: 22 kg/m <sup>2</sup> aplicado a un espesor de 25 mm<br>Conductividad térmica a temperaturas medias de:<br>A 93 °C, 0.65 (BTU.pulg/pies <sup>2</sup> hr. °F)<br>A 204, 0.75<br>A 316, 0.85   |





## CAPITULO IX. CONCLUSIONES

Cuando se estudian los equipos y/o procesos a detalle y se ve su aplicación en la vida real se logra una visión más clara y amplia de cómo todos aquellos conceptos teóricos aprendidos en la escuela tienen verdadera aplicación, y ya no resultan tan confusos debido a que son más palpables porque a partir de estos es como se construyen y logran grandes cosas para beneficio propio, como en este caso el uso y la generación del vapor a partir de las calderas.

Es importante tener presente que aunque en la actualidad prácticamente al adquirir una caldera el Ingeniero solo le especifica al proveedor las condiciones de trabajo y requerimientos del proceso, y no requiere tanto de diseñar la máquina, si es importante que conozca sobre esto para poder tomar las mejores y acertadas decisiones.

Por otra parte, la periodicidad y los trabajos que realice a las calderas le darán la pauta para mantenerlas en buenas condiciones, lo cual a su vez se reflejara siempre en una operación segura y confiable además de lograr un buen ahorro económico.



## REFERENCIAS

1. Donald, Swift Charles. Plantas de vapor. Arranque, prueba y operación. Editorial CECSA. 1965. México, D.F.
2. Alba, González Margarita. Análisis de Riesgos del Tratamiento del Agua para Calderas. Plaza y Valles Editores. 1999. México, D.F.
3. Gunn, David. Industrial Boilers. Longman Scientific & Technical. 1989. USA
4. Dukelow, Sam G. The Control of Boilers. 2da. edición. 1991. Instrument Society of America. USA.
5. Lawrence, Kohan Anthony. Boiler Operator's Guide. Mc Graw-Hill, Inc. 3ra. edición. 1991. USA.
6. L. Germain. Tratamiento de las aguas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 1982
7. Croft, Terell. Steam Boilers. 2da. edición. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. USA.
8. Shield, Carl D. Calderas: Tipos, características y sus funciones. Editorial CECSA. México, D.F.
9. Pull, E. Calderas de vapor. Selección, funcionamiento y conservación de las calderas de vapor y de su equipo auxiliar. 3ra. edición. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona.
10. Seaverns, W. H. La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. 1984.
11. Bähr, Hugo. Calderas Máquinas de Vapor. Editorial Labor S.A. 3ra. edición. Barcelona.
12. Basu, Prabir. Boilers and Burners, Design and Theory. Editorial Springer. USA. 1999.
13. Manrique Jose A. Termodinámica. Editorial Harla. S.A. de C.V.. México, D.F.
14. Granet, Irving. Termodinámica. 3ra. edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana. 1988. México D.F.
15. Van Wylen Gordon J. Fundamentos de Termodinámica. 2da. edición. Limusa Wiley. 1999. México D.F.
16. Valiente, Antonio. Problemas de Balances de Materia y Energía. Alambra Mexicana. 1991. México, D.F.
17. Manual de Calderas SELMEC. SELMEC Equipos Industriales, S.A. de C.V.
18. Perry, Robert H. Manual del Ingeniero Químico. 3ª. edición. Tomo III. McGraw-Hill. 1992. México, D.F.

### Artículos Consultados.

1. Steam Generation. Power, June, 1964. By Rene J. Bender.
2. Industrial Boilers. Power, February, 1977. By Bob Schwieger. Vol. 121. No. 2
3. How to select package boilers. Chemical Engineering, October 27, 1975. Milton A. Buffington.



4. Selecting Economic Boiler-Water. Pretreatment Equipment. Chemical Engineering, april, 1973. Tony Askew.
5. Conserving boiler energy. Chemical Engineering, December 31, 1979. Walter A. Hendrix.
6. Determining boiler-water makeup. Chemical Engineering, October, 1995. Jesse S. Beecher

Páginas web consultadas:

<http://www.conae.gob.mx>

[www.energuia.com](http://www.energuia.com) : Tratamientos externos del agua para calderas

[www.econext.com.mx](http://www.econext.com.mx) : Calidad de agua para generadores de vapor

<http://www.geocities.com> : Tipos de calderas

[http://www.calderasvapor.com/H.G. Servitec S.A.](http://www.calderasvapor.com/H.G.Servitec.S.A.) : Información completa sobre calderas de vapor y aceite térmico, así como todos los recambios y servicio técnico en calderas de vapor.

<http://www.cerney.es>. **Cerney, Calderas de vapor** : Fabricante de calderas industriales y equipos a presión. Especializado en calderas de vapor pirotubulares, recuperación de gases y equipos para instalaciones de cogeneración.

<http://www.patricioruiz.com>. **Talleres Patricio Ruíz** : Fabrica, vende, instala y proporciona servicio de asistencia técnica de todo tipo de calderas de vapor.



## ANEXOS



## ANEXO I. DEFINICIONES

### Aire de combustión

Es el aire que se introduce a la cámara de combustión del equipo para la oxidación del combustible.

### Aire teórico

Es el aire estequiométricamente necesario para realizar una combustión completa.

### Caballo caldera

Es el calor absorbido por la evaporación de 15,65 kg por hora de vapor saturado a una temperatura de 100 °C con agua de alimentación a la misma temperatura, siendo equivalente a 9,81 kW.

### Caldera

Equipo en el cual se transfiere el calor producido por la combustión a un fluido de trabajo para calentarlo y/o evaporarlo.

### Caldera de tubos de agua

Aquellas en las cuales los gases de combustión pasan por fuera de los tubos de la caldera y el agua por el interior de ellos.

### Caldera de tubos de humo

Son aquellas en las cuales los gases productos de la combustión, circulan por dentro de los tubos de la caldera y el agua por el exterior de ellos.

### Caldera paquete

Es una caldera fabricada y ensamblada totalmente en el taller del fabricante.

### Calor absorbido

Es la cantidad de calor que absorbe un fluido de trabajo para calentarse y/o evaporarse.

### Calor liberado

Calor producido por la combustión de un combustible.

### Calor perdido

Calor liberado por el combustible que no es aprovechado por el fluido de trabajo.

### Calor suministrado

Es el calor total que entra al equipo, comprende al calor liberado por el combustible más el calor sensible de los diferentes fluidos que se introducen en la caldera.

### Capacidad de una caldera

Es la máxima cantidad de vapor por hora (MCR) que puede generar la caldera en forma continua, deberá de ser indicada junto con la presión de operación, temperatura del vapor y temperatura del agua de alimentación. Esta capacidad también puede expresarse como el calor absorbido por el fluido de trabajo.

### Capacidad equivalente de evaporación

Es la conversión de la capacidad de una caldera a cierta referencia para fines de comparación. Es el vapor que se puede generar a una presión de 101,33 kPa y a una temperatura de 100 °C con agua de alimentación a la misma temperatura, a partir del calor absorbido.

### Combustible

Sustancia capaz de reaccionar con el oxígeno en presencia de una fuente de ignición dando como resultado liberación de calor, luz y gases.



### Combustibles derivados del petróleo

Combustibles asociados al petróleo (gas natural) u obtenidos de su refinación (diesel, gasóleo, combustóleo, gas L.P., etc).

### Combustión

Reacción de oxidación rápida de un combustible durante la cual se producen calor y luz como productos principales.

### Eficiencia térmica

Es la relación entre el calor absorbido y el calor liberado (expresado en porcentaje).

Algebraicamente se tiene:

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_\ell} \times 100$$

Método directo

$$\eta = 100 - \%Q_{pgc} - \%Q_{pcr}$$

Método indirecto

### Equipo de recuperación de calor

Equipo diseñado para transferir el calor de los gases residuales al fluido de trabajo (en este caso se le llama economizador) o al aire de combustión (precalentador de aire), con el fin de incrementar la eficiencia térmica de la caldera.

### Exceso de aire

Es el aire que se introduce por encima del aire teórico para asegurar una combustión completa.

### Exceso de oxígeno

Es el oxígeno que se introduce por encima del oxígeno teórico para asegurar una combustión completa.

### Fluido de trabajo

Fluido utilizado como medio para transferir la energía liberada por el combustible al proceso y equipos en que se requiera. Este fluido comúnmente es agua, aceite térmico u otros.

### Gases de combustión

Son los gases producto de la reacción del combustible con el aire de combustión.

### Oxígeno teórico

Es el oxígeno estequiométricamente necesario para realizar una combustión completa.

### Poder calorífico inferior (PCI)

Es la diferencia entre el poder calorífico superior y la energía necesaria para evaporar toda la humedad presente en los gases de combustión.

### Poder calorífico superior (PCS)

Cantidad de calor que produce una unidad de masa o de volumen de combustible durante su combustión. Considerando que la humedad presente en los gases de combustión se encuentra en fase líquida.

### Quemador

Dispositivo que se utiliza para efectuar la mezcla aire-combustible y realizar la combustión.

### Temperatura de saturación

Es la temperatura de equilibrio entre la fase líquida y vapor de un fluido puro.



## ANEXO II. CAPÍTULO III

## 1. TABLAS DE VAPOR DE AGUA

## SISTEMA METRICO

| Presión                          | Temperatura | Volumen específico del agua     | Volumen específico vapor seco y saturado | Entalpia líquida saturada | Entalpia vapor seco saturado | Calor de evaporación |
|----------------------------------|-------------|---------------------------------|--|---------------------------|------------------------------|----------------------|
| $\frac{\text{Kg.}}{\text{Cm}^2}$ | °C          | $\frac{\text{m}^3}{\text{Kg.}}$ | $\frac{\text{m}^3}{\text{Kg.}}$          | Kcal                      | Kcal                         | Kcal                 |
|                                  |             |                                 |  | Kg                        | Kg                           | Kg                   |
| 0.10                             | 45.45       | 0.0010101                       | 14.95                                    | 45.45                     | 617.0                        | 571.6                |
| 0.20                             | 59.67       | 0.0010169                       | 7.789                                    | 59.65                     | 623.1                        | 563.4                |
| 0.30                             | 68.68       | 0.0010220                       | 5.324                                    | 68.66                     | 626.8                        | 558.1                |
| 0.40                             | 75.42       | 0.0010261                       | 4.066                                    | 75.41                     | 629.5                        | 554.1                |
| 0.50                             | 80.80       | 0.0010296                       | 3.299                                    | 80.85                     | 631.6                        | 550.7                |
| 0.60                             | 85.45       | 0.0010327                       | 2.782                                    | 85.47                     | 633.5                        | 548.0                |
| 0.70                             | 89.45       | 0.0010355                       | 2.408                                    | 89.49                     | 635.1                        | 545.6                |
| 0.80                             | 92.99       | 0.0010381                       | 2.125                                    | 93.05                     | 636.4                        | 543.3                |
| 0.90                             | 96.18       | 0.0010405                       | 1.903                                    | 96.26                     | 637.6                        | 541.3                |
| 1.0                              | 99.09       | 0.0010428                       | 1.725                                    | 99.19                     | 638.8                        | 539.6                |
| 1.2                              | 104.25      | 0.0010468                       | 1.455                                    | 104.38                    | 640.7                        | 536.3                |
| 1.4                              | 108.74      | 0.0010505                       | 1.259                                    | 108.92                    | 642.3                        | 533.4                |
| 1.6                              | 112.73      | 0.0010538                       | 1.111                                    | 112.95                    | 643.8                        | 530.8                |
| 1.8                              | 116.33      | 0.0010570                       | 0.9954                                   | 116.60                    | 645.1                        | 528.5                |
| 2.0                              | 119.62      | 0.0010600                       | 0.9018                                   | 119.94                    | 646.3                        | 526.4                |
| 2.5                              | 125.79      | 0.0010666                       | 0.7318                                   | 127.2                     | 648.7                        | 521.5                |
| 3.0                              | 132.84      | 0.0010726                       | 0.6169                                   | 133.4                     | 650.7                        | 517.3                |
| 3.5                              | 138.19      | 0.0010779                       | 0.5338                                   | 138.9                     | 652.4                        | 513.5                |
| 4.0                              | 142.92      | 0.0010829                       | 0.4709                                   | 143.7                     | 654.9                        | 510.2                |
| 4.5                              | 147.20      | 0.0010875                       | 0.4215                                   | 148.1                     | 655.2                        | 507.1                |
| 5.0                              | 151.11      | 0.0010918                       | 0.3817                                   | 152.1                     | 656.3                        | 504.2                |
| 5.6                              | 155.41      | 0.0010967                       | 0.3231                                   | 156.6                     | 657.5                        | 500.9                |
| 6.0                              | 158.08      | 0.0010998                       | 0.3214                                   | 159.3                     | 658.3                        | 498.9                |
| 6.6                              | 161.82      | 0.0011043                       | 0.2938                                   | 163.2                     | 659.3                        | 496.1                |
| 7.0                              | 164.17      | 0.0011071                       | 0.2778                                   | 165.7                     | 659.9                        | 494.2                |
| 7.6                              | 167.51      | 0.0011113                       | 0.2570                                   | 169.2                     | 660.7                        | 491.5                |
| 8.0                              | 169.61      | 0.0011139                       | 0.2448                                   | 171.4                     | 661.2                        | 489.8                |
| 8.6                              | 172.61      | 0.0011177                       | 0.2286                                   | 174.5                     | 661.9                        | 487.4                |
| 9.0                              | 174.53      | 0.0011202                       | 0.2189                                   | 176.5                     | 662.5                        | 485.8                |
| 9.6                              | 177.28      | 0.0011238                       | 0.2058                                   | 179.4                     | 662.9                        | 483.5                |
| 10.0                             | 179.04      | 0.0011262                       | 0.1980                                   | 181.3                     | 663.3                        | 482.1                |
| 11.0                             | 181.16      | 0.0011291                       | 0.1890                                   | 183.5                     | 663.7                        | 480.2                |
| 11.5                             | 182.20      | 0.0011319                       | 0.1808                                   | 185.7                     | 664.1                        | 478.4                |
| 12.0                             | 183.17      | 0.0011346                       | 0.1733                                   | 187.7                     | 664.5                        | 476.8                |
| 12.5                             | 184.92      | 0.0011373                       | 0.1663                                   | 189.8                     | 664.9                        | 475.1                |
| 13.0                             | 186.92      | 0.0011399                       | 0.1599                                   | 191.7                     | 665.3                        | 473.6                |
| 13.5                             | 189.45      | 0.0011451                       | 0.1485                                   | 195.5                     | 665.9                        | 470.4                |
| 14.0                             | 194.13      | 0.0011476                       | 0.1434                                   | 197.3                     | 666.2                        | 468.9                |
| 14.5                             | 195.77      | 0.0011501                       | 0.1387                                   | 199.1                     | 666.4                        | 467.4                |
| 15.0                             | 197.36      | 0.0011525                       | 0.1342                                   | 200.7                     | 666.7                        | 465.9                |
| 15.5                             | 198.91      | 0.0011548                       | 0.1300                                   | 202.4                     | 666.9                        | 464.5                |
| 16.0                             | 200.43      | 0.0011572                       | 0.1261                                   | 204.0                     | 667.1                        | 463.1                |
| 16.4                             | 201.91      | 0.0011595                       | 0.1224                                   | 205.6                     | 667.3                        | 461.7                |
| 17.0                             | 203.35      | 0.0011618                       | 0.1189                                   | 207.2                     | 667.5                        | 460.3                |
| 17.5                             | 204.76      | 0.0011640                       | 0.1156                                   | 208.7                     | 667.7                        | 459.0                |
| 18.0                             | 206.14      | 0.0011662                       | 0.1125                                   | 210.2                     | 667.8                        | 457.6                |
| 18.5                             | 207.49      | 0.0011684                       | 0.1095                                   | 211.7                     | 668.0                        | 456.3                |
| 19.0                             | 208.81      | 0.0011706                       | 0.1067                                   | 213.1                     | 668.2                        | 455.1                |
| 19.5                             | 210.11      | 0.0011728                       | 0.1040                                   | 214.5                     | 668.3                        | 453.8                |
| 20.0                             | 211.38      | 0.0011749                       | 0.1015                                   | 215.9                     | 668.5                        | 452.6                |
| 20.5                             | 212.63      | 0.0011771                       | 0.09907                                  | 217.3                     | 668.6                        | 451.3                |
| 21.0                             | 213.85      | 0.0011792                       | 0.09676                                  | 218.6                     | 668.7                        | 450.1                |
| 21.5                             | 215.05      | 0.0011813                       | 0.09456                                  | 220.0                     | 668.8                        | 448.8                |
| 22.0                             | 216.23      | 0.0011833                       | 0.09245                                  | 221.2                     | 668.9                        | 447.7                |
| 22.5                             | 217.39      | 0.0011854                       | 0.09042                                  | 222.5                     | 668.9                        | 446.4                |
| 23.0                             | 218.53      | 0.0011874                       | 0.08849                                  | 223.8                     | 669.0                        | 445.2                |
| 23.5                             | 219.65      | 0.0011894                       | 0.08663                                  | 225.0                     | 669.1                        | 444.1                |
| 24.0                             | 220.75      | 0.0011914                       | 0.08486                                  | 226.2                     | 669.2                        | 443.0                |
| 24.5                             | 221.83      | 0.0011933                       | 0.08316                                  | 227.4                     | 669.2                        | 441.8                |
| 25.0                             | 222.90      | 0.0011953                       | 0.08150                                  | 228.6                     | 669.3                        | 440.7                |
| 30.0                             | 232.76      | 0.0012322                       | 0.06797                                  | 239.6                     | 669.6                        | 430.0                |
| 35.0                             | 241.42      | 0.0012321                       | 0.05819                                  | 249.5                     | 669.5                        | 420.0                |
| 40.0                             | 249.18      | 0.0012493                       | 0.05077                                  | 258.4                     | 669.0                        | 410.6                |
| 45.0                             | 256.23      | 0.0012661                       | 0.04495                                  | 266.6                     | 668.4                        | 401.8                |
| 50.0                             | 262.70      | 0.0012825                       | 0.04026                                  | 274.3                     | 667.5                        | 393.2                |
| 55.0                             | 268.69      | 0.0012986                       | 0.03639                                  | 281.5                     | 666.6                        | 385.1                |
| 60.0                             | 274.29      | 0.0013147                       | 0.03313                                  | 288.3                     | 665.4                        | 377.1                |
| 65.0                             | 279.54      | 0.0013306                       | 0.03036                                  | 294.8                     | 664.0                        | 369.2                |
| 70.0                             | 284.48      | 0.0013466                       | 0.02798                                  | 301.0                     | 662.6                        | 361.6                |
| 75.0                             | 289.17      | 0.0013626                       | 0.02589                                  | 307.0                     | 661.0                        | 354.0                |
| 80.0                             | 293.62      | 0.0013787                       | 0.02405                                  | 312.8                     | 650.3                        | 346.5                |
| 85.0                             | 297.86      | 0.0013950                       | 0.02243                                  | 318.4                     | 657.6                        | 339.2                |
| 90.0                             | 301.92      | 0.0014115                       | 0.02096                                  | 323.8                     | 655.7                        | 331.9                |
| 95.0                             | 305.80      | 0.0014282                       | 0.01965                                  | 329.1                     | 653.8                        | 324.7                |
| 100                              | 309.53      | 0.0014453                       | 0.01846                                  | 334.2                     | 654.7                        | 317.5                |
| 150                              | 340.56      | 0.001644                        | 0.01066                                  | 381.9                     | 625.6                        | 243.7                |
| 200                              | 364.08      | 0.001987                        | 0.00618                                  | 431.3                     | 581.4                        | 150.1                |



ANEXO III. CAPITULO IV

1. TABLAS PARA EL CALCULO DE EFICIENCIA

GRAFICA 1 E
Porcentaje de pérdidas de calor - Aceite Combustible No. 2 - Diesel

Table with 20 columns representing temperature differences (200-1000) and 15 rows representing CO2 percentages (3.0-15.0). Title: Diferencia de temperatura entre el flujo de gas y el cuarto de calderas en grados Fahrenheit.

GRAFICA 2 E
Porcentaje de pérdidas de calor - Aceite Combustible No. 6 Combustóleo

Table with 20 columns representing temperature differences (200-1000) and 15 rows representing CO2 percentages (3.0-15.0). Title: Diferencia de temperatura entre el flujo de gas y el cuarto de calderas en grados Fahrenheit.





Calderas Tipo Tubos de Humo

GRAFICA 3 E

Porcentaje de pérdidas de calor – Gas natural

| %   | Diferencia de temperatura entre el flujo de gas y el cuarto de calderas en grados fahrenheit |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
|-----|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
|     | 200  | 220  | 240  | 260  | 280  | 300  | 320  | 340  | 360  | 380  | 400  | 420  | 440  | 460  | 480  | 500  | 520  | 540  | 560  | 580  | 600  | 620  | 640  | 660  | 680  | 700  | 750  | 800  | 850  | 900  | 950  | 1000 |  |  |
| 3.0 | 23.1   | 24.4 | 25.9 | 27.2 | 28.6 | 30.0 | 31.3 | 32.8 | 34.1 | 35.8 | 36.9 | 38.2 | 39.8 | 41.0 | 42.7 | 43.8 | 45.0 | 46.3 | 47.8 | 49.0 | 50.0 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 3.5 | 21.2   | 22.5 | 23.8 | 24.9 | 26.1 | 27.2 | 28.4 | 29.6 | 30.9 | 32.0 | 33.2 | 34.4 | 35.8 | 36.8 | 37.9 | 39.2 | 40.3 | 41.6 | 42.8 | 43.8 | 45.0 | 46.2 | 47.7 | 48.3 | 49.8 |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 4.0 | 19.9   | 20.9 | 22.0 | 23.1 | 24.1 | 25.1 | 26.2 | 27.2 | 28.3 | 29.4 | 30.4 | 31.8 | 32.5 | 33.8 | 34.8 | 35.8 | 36.8 | 37.8 | 38.8 | 39.9 | 40.9 | 42.1 | 43.0 | 44.1 | 45.2 | 46.2 | 48.8 |      |      |      |      |      |  |  |
| 4.5 | 18.9   | 19.9 | 20.9 | 21.8 | 22.7 | 23.6 | 24.5 | 25.5 | 26.4 | 27.3 | 28.3 | 29.2 | 30.2 | 31.2 | 32.2 | 33.0 | 34.0 | 35.0 | 36.8 | 37.8 | 38.6 | 39.8 | 40.4 | 41.5 | 42.6 | 44.8 | 47.2 | 49.8 |      |      |      |      |  |  |
| 5.0 | 18.0   | 18.9 | 19.8 | 20.6 | 21.4 | 22.2 | 23.1 | 24.0 | 24.9 | 25.8 | 26.8 | 27.5 | 28.3 | 29.1 | 30.1 | 30.9 | 31.8 | 32.5 | 33.6 | 34.3 | 35.7 | 36.2 | 36.9 | 37.8 | 38.8 | 39.7 | 41.8 | 43.8 | 46.0 | 48.2 |      |      |  |  |
| 5.5 | 17.4   | 18.1 | 18.9 | 19.8 | 20.5 | 21.2 | 22.1 | 22.9 | 23.8 | 24.5 | 25.2 | 26.2 | 26.9 | 27.8 | 28.5 | 29.2 | 30.0 | 30.8 | 31.8 | 32.3 | 33.2 | 34.1 | 34.9 | 35.8 | 36.3 | 37.2 | 39.2 | 41.0 | 43.0 | 45.3 | 47.2 | 49.0 |  |  |
| 6.0 | 16.8   | 17.4 | 18.2 | 18.9 | 19.6 | 20.4 | 21.1 | 21.8 | 22.7 | 23.3 | 24.1 | 24.9 | 25.5 | 26.2 | 27.0 | 27.8 | 28.4 | 29.2 | 30.0 | 30.8 | 31.5 | 32.2 | 32.9 | 33.8 | 34.3 | 35.2 | 36.8 | 38.8 | 40.4 | 42.5 | 44.3 | 46.2 |  |  |
| 6.5 | 16.3   | 16.9 | 17.6 | 18.4 | 19.0 | 19.8 | 20.4 | 21.1 | 21.8 | 22.4 | 23.2 | 23.8 | 24.5 | 25.2 | 25.9 | 26.5 | 27.2 | 27.9 | 28.7 | 29.2 | 30.0 | 30.9 | 31.4 | 32.1 | 32.8 | 33.5 | 34.6 | 36.8 | 38.4 | 40.3 | 42.0 | 43.8 |  |  |
| 7.0 | 15.8   | 16.5 | 17.1 | 17.8 | 18.4 | 19.1 | 19.8 | 20.4 | 21.0 | 21.8 | 22.3 | 22.9 | 23.6 | 24.2 | 24.9 | 25.5 | 26.2 | 26.8 | 27.4 | 28.0 | 28.8 | 29.4 | 30.0 | 30.8 | 31.2 | 32.0 | 33.8 | 35.3 | 36.8 | 38.3 | 40.0 | 41.8 |  |  |
| 7.5 | 15.5   | 16.1 | 16.7 | 17.2 | 17.9 | 18.5 | 19.1 | 19.8 | 20.3 | 20.9 | 21.5 | 22.2 | 22.8 | 23.3 | 24.0 | 24.6 | 25.2 | 25.8 | 26.4 | 26.9 | 27.7 | 28.2 | 28.8 | 29.4 | 30.1 | 30.8 | 32.2 | 33.8 | 35.2 | 36.8 | 38.3 | 39.9 |  |  |
| 8.0 | 15.2   | 15.7 | 16.3 | 16.9 | 17.4 | 18.0 | 18.6 | 19.2 | 19.8 | 20.3 | 20.9 | 21.5 | 22.1 | 22.8 | 23.2 | 23.8 | 24.4 | 25.0 | 25.5 | 26.0 | 26.7 | 27.2 | 27.8 | 28.4 | 29.0 | 29.5 | 31.0 | 32.4 | 33.8 | 35.4 | 36.8 | 38.2 |  |  |
| 8.5 | 14.9   | 15.4 | 15.9 | 16.5 | 17.1 | 17.6 | 18.2 | 18.7 | 19.3 | 19.8 | 20.4 | 20.9 | 21.4 | 22.0 | 22.5 | 23.1 | 23.7 | 24.2 | 24.8 | 25.3 | 25.8 | 26.4 | 26.9 | 27.4 | 28.1 | 28.6 | 29.9 | 31.3 | 32.8 | 34.2 | 35.4 | 36.8 |  |  |
| 9.0 | 14.6   | 15.2 | 15.7 | 16.2 | 16.6 | 17.2 | 17.8 | 18.3 | 18.8 | 19.3 | 19.9 | 20.4 | 20.9 | 21.4 | 21.9 | 22.5 | 23.0 | 23.5 | 24.1 | 24.5 | 25.2 | 25.8 | 26.2 | 26.7 | 27.2 | 27.8 | 29.0 | 30.3 | 31.8 | 33.0 | 34.3 | 35.7 |  |  |
| 9.5 | 14.4   | 14.9 | 15.4 | 15.9 | 16.4 | 16.9 | 17.4 | 17.9 | 18.4 | 18.9 | 19.5 | 20.0 | 20.5 | 21.0 | 21.4 | 21.9 | 22.4 | 22.9 | 23.4 | 23.8 | 24.4 | 24.9 | 25.4 | 25.9 | 26.4 | 26.9 | 28.2 | 29.4 | 30.8 | 32.0 | 33.3 | 34.5 |  |  |
| 10  | 14.2   | 14.6 | 15.2 | 15.6 | 16.1 | 16.6 | 17.1 | 17.5 | 18.1 | 18.5 | 19.0 | 19.5 | 20.0 | 20.4 | 20.8 | 21.4 | 21.8 | 22.4 | 22.8 | 23.3 | 23.8 | 24.3 | 24.8 | 25.2 | 25.8 | 26.2 | 27.4 | 28.6 | 29.8 | 31.2 | 32.2 | 33.4 |  |  |
| 11  |  | 14.4 | 14.7 | 15.2 | 15.6 | 16.1 | 16.5 | 16.9 | 17.4 | 17.8 | 18.4 | 18.8 | 19.3 | 19.6 | 20.2 | 20.5 | 20.9 | 21.4 | 21.9 | 22.3 | 22.8 | 23.2 | 23.7 | 24.2 | 24.6 | 25.0 | 26.2 | 27.2 | 28.3 | 29.3 | 30.8 | 31.8 |  |  |
| 12  |  |      | 14.4 | 14.8 | 15.2 | 15.6 | 16.1 | 16.5 | 16.9 | 17.3 | 17.8 | 18.2 | 18.6 | 19.0 | 19.4 | 19.8 | 20.2 | 20.6 | 21.1 | 21.4 | 21.9 | 22.3 | 22.8 | 23.2 | 23.6 | 24.0 | 25.1 | 26.1 | 27.2 | 28.3 | 29.2 | 30.2 |  |  |

GRAFICA 4 E.

Porcentaje de pérdidas de calor – Gas manufacturado

| %   | Diferencia de temperatura entre el flujo de gas y el cuarto de calderas en grados fahrenheit |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
|-----|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
|     | 200  | 220  | 240  | 260  | 280  | 300  | 320  | 340  | 360  | 380  | 400  | 420  | 440  | 460  | 480  | 500  | 520  | 540  | 560  | 580  | 600  | 620  | 640  | 660  | 680  | 700  | 750  | 800  | 850  | 900  | 950  | 1000 |  |  |
| 3.0 | 32.4   | 35.0 | 37.7 | 40.1 | 42.9 | 45.4 | 48.0 | 50.8 | 53.2 | 55.9 | 58.5 | 61.4 | 63.7 | 66.3 | 69.2 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 3.5 | 28.8   | 30.9 | 33.2 | 35.5 | 37.8 | 39.9 | 42.1 | 44.4 | 46.8 | 49.0 | 51.4 | 53.8 | 55.8 | 57.9 | 60.4 | 62.5 | 64.9 | 67.0 | 69.3 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 4.0 | 25.9   | 27.9 | 29.9 | 31.9 | 33.9 | 35.9 | 37.9 | 39.8 | 41.9 | 43.9 | 45.9 | 47.9 | 49.8 | 51.7 | 53.8 | 55.8 | 57.8 | 59.8 | 61.5 | 63.5 | 65.5 | 67.8 | 68.8 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 4.5 | 23.9   | 25.6 | 27.4 | 29.1 | 31.0 | 32.8 | 34.7 | 36.2 | 38.0 | 39.9 | 41.7 | 43.5 | 45.1 | 46.9 | 48.9 | 50.8 | 52.1 | 53.9 | 55.5 | 57.4 | 59.4 | 61.0 | 62.9 | 64.5 | 66.5 | 68.3 |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 5.0 | 22.2   | 23.9 | 25.3 | 26.9 | 28.6 | 30.1 | 31.8 | 33.5 | 35.0 | 36.9 | 38.3 | 39.9 | 41.3 | 43.2 | 44.7 | 46.3 | 47.8 | 49.5 | 51.0 | 52.5 | 54.2 | 55.9 | 57.5 | 59.0 | 60.9 | 62.3 | 66.4 |      |      |      |      |      |  |  |
| 5.5 | 20.4   | 22.2 | 23.8 | 25.1 | 26.6 | 28.0 | 29.5 | 30.9 | 32.5 | 33.9 | 35.3 | 37.0 | 38.5 | 39.7 | 41.2 | 42.9 | 44.1 | 45.6 | 47.2 | 48.5 | 49.9 | 51.5 | 53.0 | 54.5 | 55.8 | 57.4 | 61.0 | 65.5 | 68.4 |      |      |      |  |  |
| 6.0 | 19.7   | 20.9 | 22.3 | 23.7 | 25.0 | 26.4 | 27.8 | 29.0 | 30.5 | 31.9 | 33.2 | 34.5 | 35.8 | 37.3 | 38.8 | 39.9 | 41.2 | 42.8 | 43.8 | 45.2 | 46.5 | 48.0 | 49.4 | 50.9 | 52.0 | 53.4 | 56.9 | 60.1 | 63.5 | 67.0 |      |      |  |  |
| 6.5 | 18.6   | 19.9 | 21.2 | 22.4 | 23.8 | 24.9 | 26.2 | 27.4 | 28.7 | 30.0 | 31.3 | 32.7 | 33.7 | 35.1 | 36.4 | 37.6 | 38.9 | 39.9 | 41.2 | 42.5 | 43.8 | 45.3 | 46.2 | 47.5 | 48.9 | 50.0 | 53.5 | 56.4 | 59.5 | 62.5 | 65.8 | 69.0 |  |  |
| 7.0 | 17.8   | 19.0 | 20.3 | 21.3 | 22.5 | 23.7 | 24.8 | 25.9 | 27.1 | 28.4 | 29.5 | 30.8 | 31.9 | 33.2 | 34.2 | 35.4 | 36.7 | 37.7 | 38.9 | 39.9 | 41.3 | 42.5 | 43.5 | 44.5 | 45.8 | 47.0 | 49.9 | 53.0 | 55.8 | 58.9 | 61.8 | 64.5 |  |  |
| 7.5 | 17.2   | 18.2 | 19.4 | 20.4 | 21.5 | 22.7 | 23.7 | 24.8 | 25.9 | 27.0 | 28.1 | 29.2 | 30.3 | 31.4 | 32.5 | 33.5 | 34.8 | 35.8 | 36.9 | 37.8 | 39.2 | 40.3 | 41.2 | 42.4 | 43.5 | 44.5 | 47.3 | 49.9 | 52.9 | 55.5 | 58.2 | 61.0 |  |  |
| 8.0 | 16.5   | 17.6 | 18.6 | 19.6 | 20.7 | 21.7 | 22.7 | 23.8 | 24.8 | 25.8 | 26.9 | 27.8 | 28.8 | 29.9 | 31.2 | 31.9 | 33.2 | 34.0 | 35.2 | 36.0 | 37.2 | 38.2 | 39.2 | 40.3 | 41.3 | 42.4 | 44.9 | 47.5 | 49.9 | 52.5 | 55.3 | 57.8 |  |  |
| 8.5 | 15.9   | 16.9 | 17.9 | 18.8 | 19.8 | 20.8 | 21.7 | 22.8 | 23.8 | 24.7 | 25.7 | 26.7 | 27.7 | 28.6 | 29.6 | 30.8 | 31.5 | 32.5 | 33.5 | 34.4 | 35.5 | 36.5 | 37.5 | 38.5 | 39.3 | 40.4 | 42.9 | 45.2 | 47.5 | 50.0 | 52.5 | 55.0 |  |  |
| 9.0 | 15.5   | 16.4 | 17.4 | 18.2 | 19.1 | 20.1 | 20.9 | 21.9 | 22.8 | 23.8 | 24.7 | 25.7 | 26.6 | 27.5 | 28.4 | 29.3 | 30.2 | 31.2 | 32.1 | 33.0 | 33.9 | 35.0 | 35.8 | 36.9 | 37.8 | 38.8 | 41.4 | 43.4 | 45.5 | 47.9 | 50.4 | 52.3 |  |  |
| 9.5 | 15.0   | 15.9 | 16.8 | 17.6 | 18.5 | 19.4 | 20.3 | 21.1 | 22.1 | 22.9 | 23.8 | 24.7 | 25.6 | 26.5 | 27.4 | 28.1 | 29.0 | 29.9 | 30.9 | 31.5 | 32.6 | 33.5 | 34.4 | 35.2 | 36.2 | 37.2 | 39.3 | 41.5 | 43.7 | 45.9 | 48.0 | 50.4 |  |  |
| 10  | 14.7   | 15.5 | 16.3 | 17.2 | 17.9 | 18.8 | 19.7 | 20.4 | 21.4 | 22.2 | 23.1 | 23.9 | 24.7 | 25.6 | 26.4 | 27.2 | 28.1 | 28.9 | 29.8 | 30.5 | 31.5 | 32.4 | 33.1 | 33.9 | 34.9 | 35.5 | 37.8 | 39.9 | 41.9 | 44.1 | 46.3 | 48.4 |  |  |
| 11  | 13.9   | 14.8 | 15.5 | 16.3 | 17.0 | 17.8 | 18.6 | 19.3 | 20.1 | 20.9 | 21.7 | 22.4 | 23.2 | 24.0 | 24.8 | 25.5 | 26.3 | 27.1 | 27.8 | 28.5 | 29.3 | 30.3 | 30.9 | 31.8 | 32.5 | 33.3 | 35.3 | 37.3 | 39.2 | 41.0 | 43.0 | 44.8 |  |  |
| 12  | 13.4   | 14.1 | 14.8 | 15.6 | 16.3 | 16.9 | 17.7 | 18.3 | 19.1 | 19.8 | 20.5 | 21.2 | 21.9 | 22.7 | 23.4 | 24.1 | 24.8 | 25.5 | 26.1 | 26.9 | 27.7 | 28.4 | 29.0 | 29.8 | 30.5 | 31.2 | 33.0 | 34.9 | 36.6 | 38.5 | 40.3 | 41.8 |  |  |
| 13  | 12.8   | 13.6 | 14.3 | 14.9 | 15.6 | 16.3 | 16.8 | 17.5 | 18.3 | 18.8 | 19.6 | 20.2 | 20.8 | 21.6 | 22.1 | 22.8 | 23.5 | 24.2 | 24.8 | 25.4 | 26.1 | 26.9 | 27.5 | 28.1 | 28.8 | 29.5 | 31.2 | 32.9 | 34.5 | 36.2 | 37.7 | 39.5 |  |  |
| 14  | 12.5   | 13.1 | 13.7 | 14.4 | 14.9 | 15.6 | 16.3 | 16.8 | 17.4 | 18.1 | 18.7 | 19.3 | 19.9 | 20.6 | 21.1 | 21.8 | 22.4 | 23.1 | 23.7 | 24.3 | 24.9 | 25.6 | 26.1 | 26.8 | 27.4 | 27.9 | 29.6 | 31.2 | 32.8 | 34.3 | 35.7 | 37.5 |  |  |
| 15  | 12.2   | 12.8 | 13.4 | 13.9 | 14.4 | 15.1 | 15.7 | 16.3 | 16.8 | 17.4 | 17.9 | 18.6 | 19.1 | 19.8 | 20.3 | 20.8 | 21.5 | 22.1 | 22.7 | 23.2 | 23.8 | 24.5 | 24.9 | 25.6 | 26.2 | 26.8 | 28.2 | 29.8 | 31.3 | 32.8 | 34.3 | 35.4 |  |  |
| 16  | 12.4   | 12.9 | 13.4 | 14.0 | 14.6 | 15.2 | 15.7 | 16.3 | 16.8 | 17.4 | 17.8 | 18.4 | 18.9 | 19.6 | 20.1 | 20.7 | 21.2 | 21.7 | 22.2 | 22.8 | 23.5 | 23.9 | 24.5 | 25.1 | 25.7 | 27.0 | 28.4 | 29.8 | 31.3 | 32.6 | 33.9 |      |  |  |
| 17  |  | 12.1 | 12.6 | 13.1 | 13.7 | 14.3 | 14.7 | 15.2 | 15.7 | 16.3 | 16.8 | 17.4 | 17.8 | 18.4 | 18   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |



## 2. TABLAS Y GRÁFICAS PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE (GAS)

TABLA No. 3

CONSUMO MÁXIMO DE GAS (PIES<sup>3</sup>/Hr.)  
Para diferentes tipos de gas. Todos los modelos de calderas.

| CC  | Tipo de gas y poder calorífico                |  |  |  |   |
|-----|---|--|--|--|---|
|     | Manufacturado<br>500<br>Btu/pies <sup>3</sup> | Mezclado<br>800<br>Btu/pies <sup>3</sup> | Natural<br>1000<br>Btu/pies <sup>3</sup> | Propano<br>2550<br>Btu/pies <sup>3</sup> | Butano<br>3200<br>Btu/pies <sup>3</sup> |
| 15  | 1,250 CFH                                     | 780 CFH                                  | 625 CFH                                  | 245 CFH                                  | 195 CFH                                 |
| 20  | 1,670   | 1,045                                    | 835                                      | 330                                      | 260                                     |
| 40  | 3,350   | 2,095                                    | 1,675                                    | 655                                      | 525                                     |
| 60  | 5,020   | 3,140                                    | 2,510                                    | 985                                      | 785                                     |
| 80  | 6,700   | 4,190                                    | 3,350                                    | 1,315                                    | 1,045                                   |
| 100 | 8,370   | 5,235                                    | 4,185                                    | 1,640                                    | 1,635                                   |
| 125 | 10,460  | 6,540                                    | 5,230                                    | 2,050                                    | 1,635                                   |
| 150 | 12,560  | 7,850                                    | 6,280                                    | 2,465                                    | 1,960                                   |
| 200 | 16,740  | 10,460                                   | 8,370                                    | 3,280                                    | 2,615                                   |
| 250 | 20,920  | 13,080                                   | 10,460                                   | 4,105                                    | 3,270                                   |
| 300 | 25,110  | 15,695                                   | 12,555                                   | 4,925                                    | 3,925                                   |
| 350 | 29,300  | 18,315                                   | 14,650                                   | 5,745                                    | 4,580                                   |
| 400 | 33,500  | 20,940                                   | 16,750                                   | 6,570                                    | 5,235                                   |
| 500 | 41,850  | 26,155                                   | 20,925                                   | 8,205                                    | 6,540                                   |
| 600 | 50,200  | 31,370                                   | 25,100                                   | 9,845                                    | 7,845                                   |
| 700 | 58,600  | 36,600                                   | 29,300                                   | 11,480                                   | 9,150                                   |

TABLA No. 4

PRESIÓN DE GAS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS  
A la entrada del tren de gas estándar  
(Basada en gas natural de 100 Btu/pies<sup>3</sup> y una elevación de 700 pies)

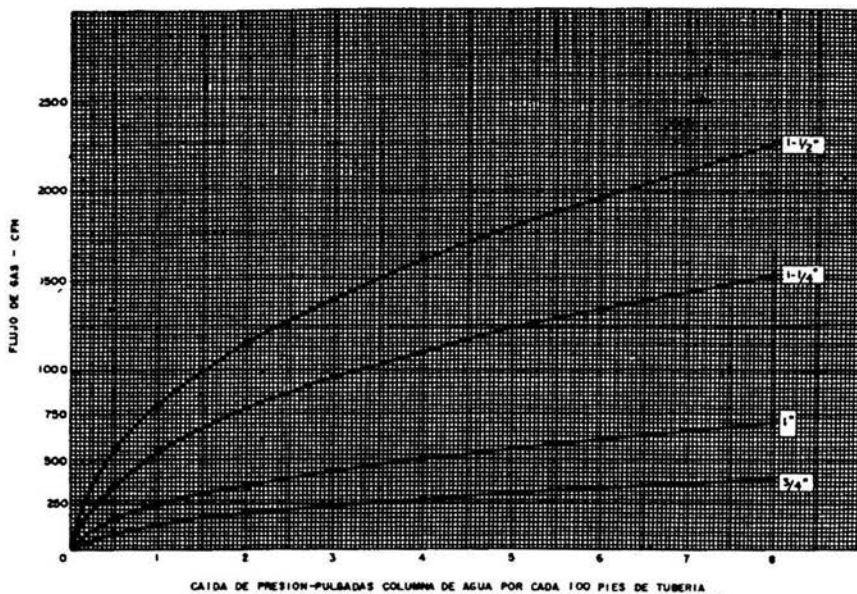
| CC      | MODELO CB                       | MODELO CBH                      | MONITOR                   |                           |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|         | * Presión requerida no regulada | * Presión requerida no regulada | Mínima presión requerida. | Máxima presión requerida. |
| 20      | 4" *                            | =                               | 4"                        | 8 Oz/Pulg <sup>2</sup>    |
| 40-60   | 4"                              | 4.0"                            | 4"                        | 8 Oz/Pulg <sup>2</sup>    |
| 80      | 5"                              | 4.5"                            |                           |                           |
| 100     | 6"                              | 7.0"                            |                           |                           |
| 125-150 | 6"                              |                                 |                           |                           |
| 200     | 9"                              |                                 |                           |                           |
| 250-300 | 12"                             |                                 |                           |                           |
| 350-400 | 13"                             |                                 |                           |                           |
| 500     | 18"                             |                                 |                           |                           |
| 600     | 22"                             |                                 |                           |                           |
| 700     | 30"                             |                                 |                           |                           |

\* La presión neta regulada significa la presión a la entrada del tren de gas para la proporción de consumo máximo de gas. Para cumplir esto, un regulador de presión de gas es requerido. (pulgadas columna de agua).

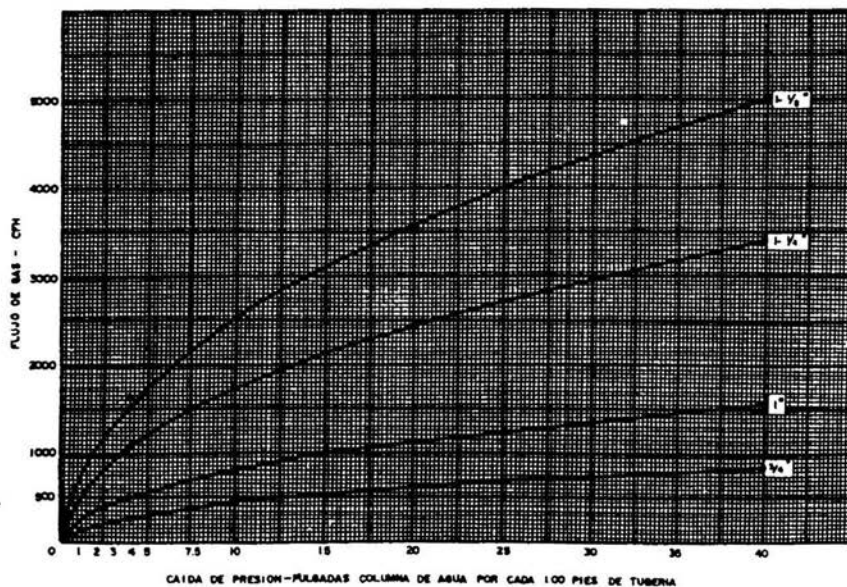
Para obtener los requerimientos mínimos de presión del gas para altitudes por arriba de 700 pies, multiplicar la presión de la tabla No. 4 por los siguientes factores.



GRAFICA No. 8  
FLUJO DE GAS  
Densidad Relativa = 0.65

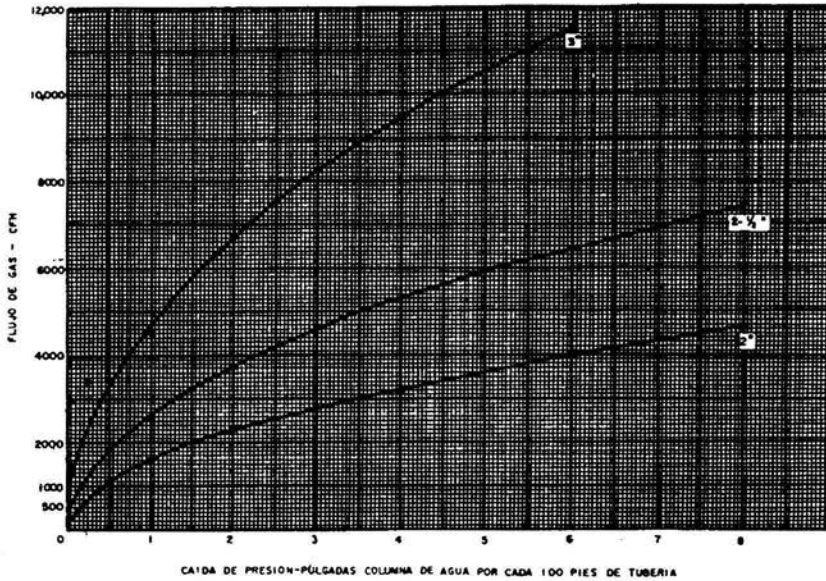


GRAFICA No. 9  
FLUJO DE GAS  
Densidad Relativa = 0.65



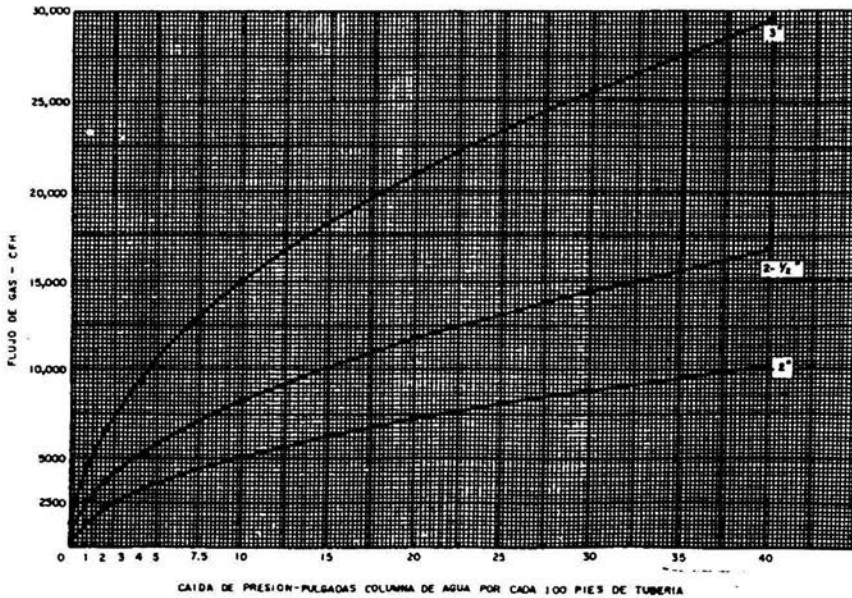


GRAFICA No. 10  
FLUJO DE GAS  
Densidad Relativa = 0.65



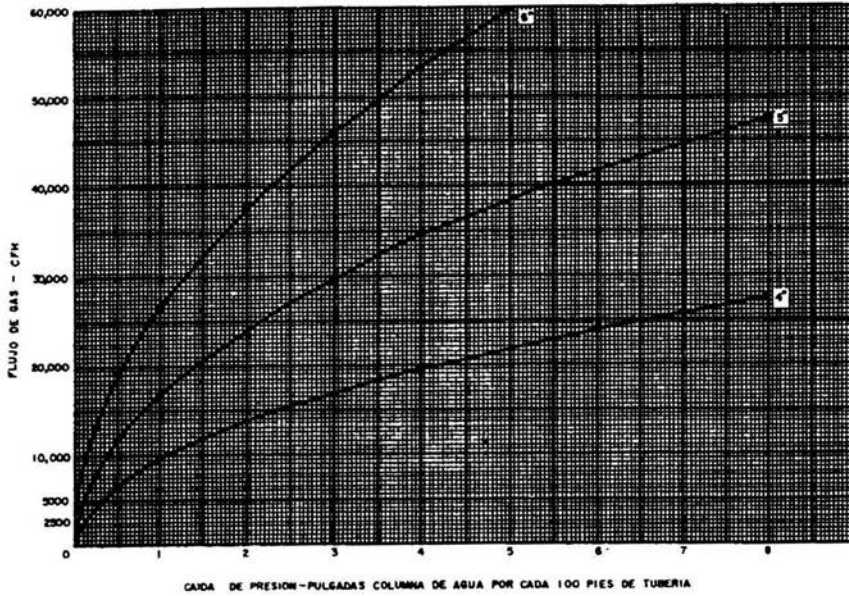
GRAFICA No. 11  
FLUJO DE GAS.

Densidad Relativa = 0.65

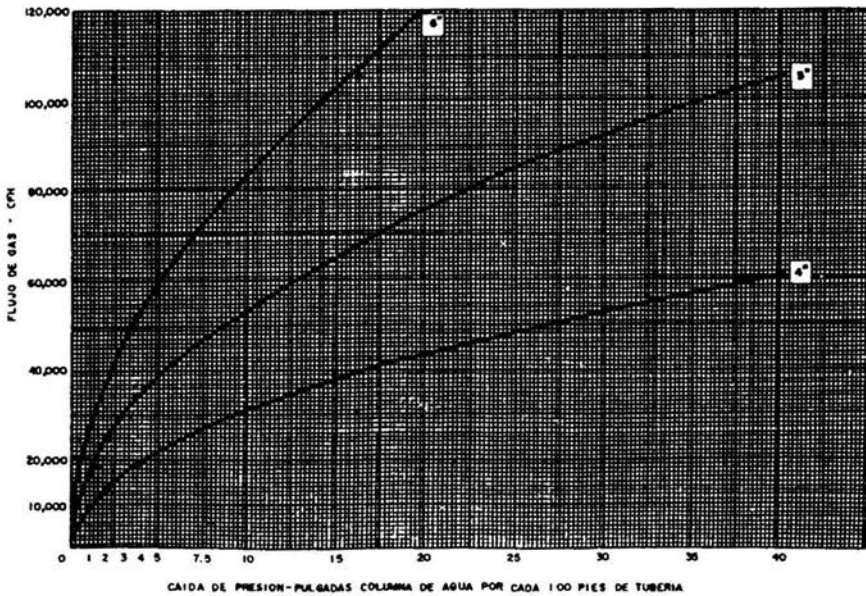




GRAFICA No. 12  
FLUJO DE GAS  
Densidad Relativa = 0.65



GRAFICA No. 13  
FLUJO DE GAS  
Densidad Relativa = 0.65





ANEXO IV. CAPITULO V

1. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

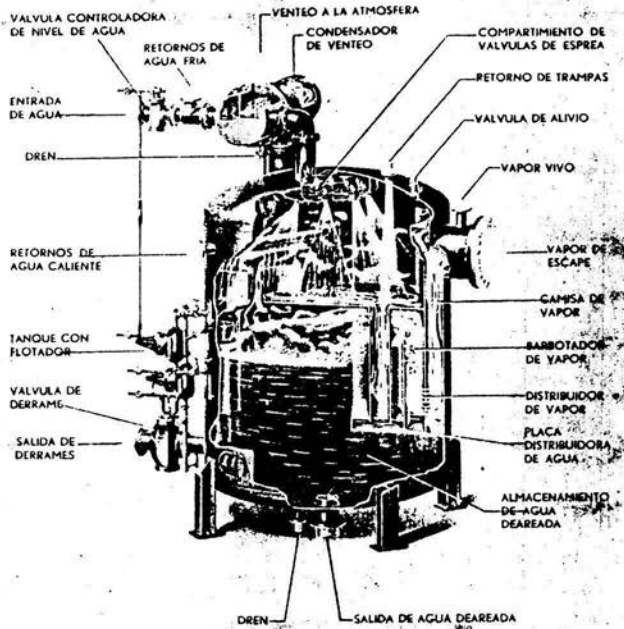


Fig. 11. Desaerador por aspersion para proporcionar calentamiento primario y desaeracion secundaria. (Cortesia de The Permutit Company.)

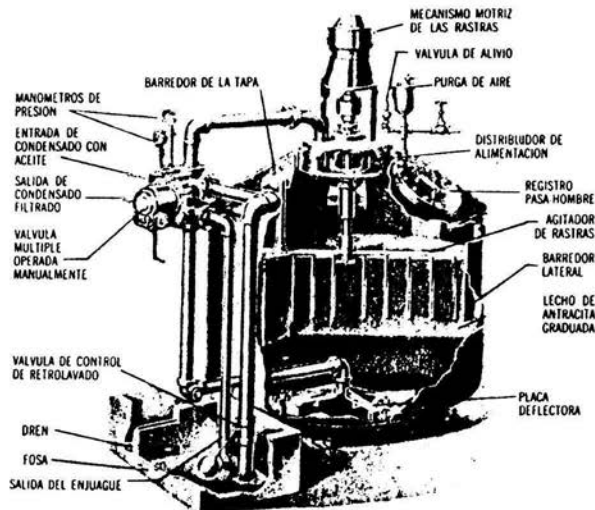


Fig. 10. Tipo de filtro a presión para remoción de aceite, equipado con rastras giratorias operadas mecánicamente para limpieza de la arena. (Cortesia de The Permutit Company.)

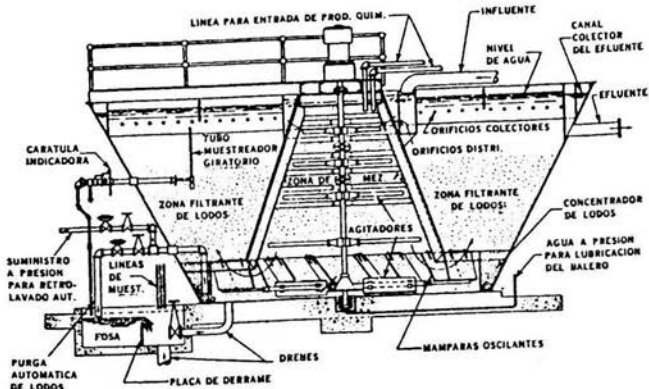


Fig. 13. Tanque Spaulding de flujo ascendente para coagulación y clarificación. (Cortesía de The Permutit Company).

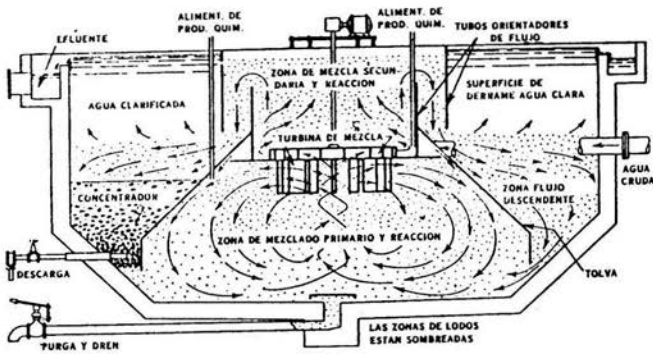


Fig. 14. Tanque de flujo rápido con lecho de lodos (cortesía de Inflico Incorp).



## ANEXO V. CAPITULO VI

## 1. TABLAS Y GRÁFICAS PARA EL CÁLCULO DE LA LINEA DE PETROLEO PESADO

TABLA No. 1  
Equipo de Bombeo para Aceite Combustible No. 6  
Petróleo pesado

| CC   | Descripción de la bomba                                    | Localización   | Modelo y tamaño | Motor | GPH RPM<br>(x 60 ciclos) | Presión de descarga lbs/pulg. <sup>2</sup><br>operación normal | Altura de succión máxima recomendada<br>Pulg Hg. |
|--|--|--|-----------------|-------|--------------------------|--|--|
| 80<br>100<br>125-150<br>200<br>250<br>300<br>350 | bomba de desplazamiento positivo, rotativa, de engranajes. | La bomba de combustible se embarca suelta, para montarse tan cerca del tanque de combustible como sea posible. | 2 CF 1"         | 1/3   | 135 420                  | 75-100   | 17   |
|  |  |  | 2 CF 1"         | 1/2   | 170 520                  | 75-100   | 17   |
|  |  |  | 3 CF 1"         | 3/4   | 270 420                  | 75-100   | 17   |
| 400,500<br>600,700                               |  |  | 3 CF 1 1/4"     | 1     | 335 520                  | 75-100   | 17   |

TABLA No. 2  
Tamaño, localización y recomendaciones sobre la línea de conexión  
Modelo CB

| CC                 | Conexiones de Suministro   |   | Conexiones de retorno |   | Conexiones del piloto de gas presión requerida 4 pulg. columna de agua |   | * Tamaño recomendado de la línea de combustible (tubería estandar pulg IPS) |                    |                            |
|--------------------|----------------------------|---|-----------------------|---|--|---|---|--------------------|----------------------------|
|                    | Tamaño (Pulg) (NPT) Mínima | Localización de la dimensión "A" (Pulgadas) | Tamaño (Pulg) (NPT)   | Localización de la dimensión "B" (Pulgadas) | Tamaño (Pulg) (NPT)  | Localización de la dimensión "C" (Pulgadas) | Tanque de almacenamiento a la bomba   | Bomba a la caldera | Línea de retorno al tanque |
| 60<br>80<br>100    | 1 1/4                      | # 0a<br>27 3/4                              | 3/4                   | # 6 Oil<br>19 3/4                           | 1/2  | 28  | 2   | 1 1/4              | 1 1/4                      |
| 125,150            | 1 1/4                      | 49 1/2                                      | 1/4                   | 39 1/2                                      | 1/2  | 38  | 2 1/2   | 1 1/2              | 2                          |
| 200                | 1 1/4                      | 65 1/2                                      | 1 1/4                 | 39 1/2                                      | 1/2  | 38  | 2 1/2   | 1 1/2              | 2                          |
| 250,300<br>350     | 1 1/4                      | 89 3/4                                      | 1 1/4                 | 59 3/4                                      | 1/2  | 56  | 2 1/2   | 1 1/2              | 2                          |
| 400,500<br>600,700 | 1 1/4                      | 89 3/4                                      | 1 1/4                 | 59 3/4                                      | 1/2  | 54  | 3   | 2                  | 2                          |

\* Para líneas de succión con una elevación máxima de 10 pies y un total de 100 pies de línea de succión.  
Ver Instrucciones de dimensionamiento de la línea de combustible petróleo pesado para sistemas con otras condiciones.

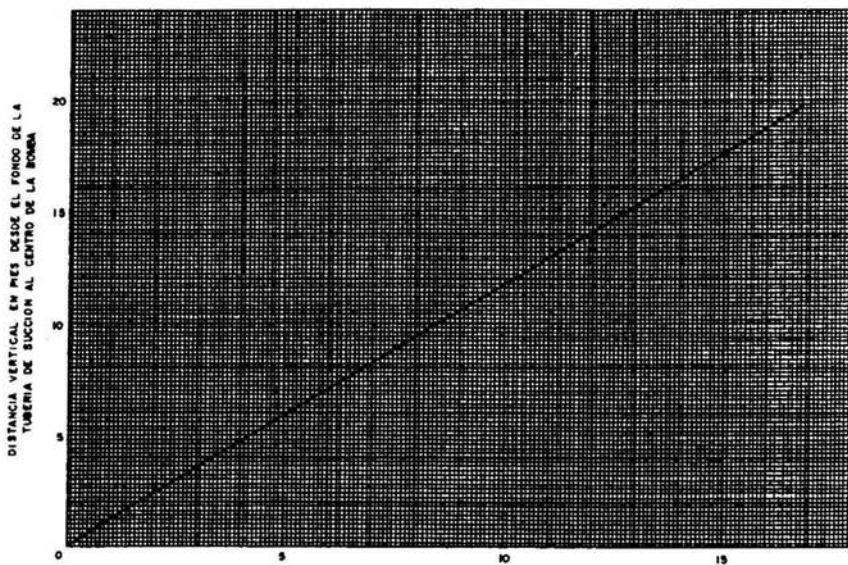




GRAFICA No 3

ALTURA DE SUCCION BOMBA DE ACEITE COMBUSTIBLE No. 6

Densidad Relativa = 0.98  
Min. 45 SSF a 122 °F  
Max. 300 SSF a 122 °F

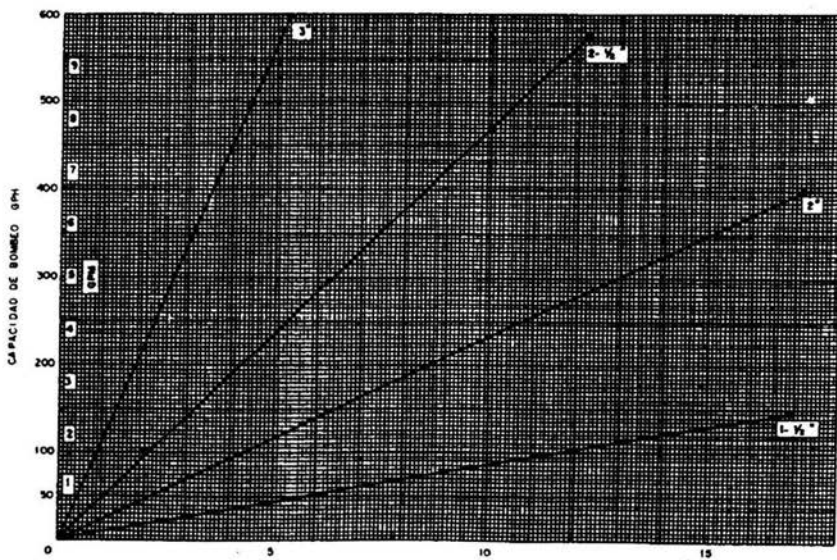


ALTURA DE SUCCION PULGADAS DE MERCURIO

GRAFICA No. 4

ACEITE COMBUSTIBLE No. 6

(Curva basada en una viscosidad límite de 4000 SSU)



SUCCION DE LA BOMBA, EN PULGADAS DE MERCURIO POR CADA 100 PIES DE TUBERIA.



2. TABLAS Y GRÁFICAS PARA EL CÁLCULO DE LA LINEA DE COMBUSTIBLE LIGERO (DIESEL)

**TABLA No. 1**  
**EQUIPO DE BOMBEO ESTANDAR**  
**ACEITE COMBUSTIBLE No. 2 DIESEL**

| CC                          | Modelo de la caldera | Bomba de combustible integrada a la caldera con acoplamiento por banda a la flecha del motor del ventilador     | Descripción de la Bomba (Tipo) (Desplazamiento Positivo) | Marca de la Bomba, Modelo, No. y tamaño de conexión | Motor H.P. | Características (60 ciclos) GPH & RPM | Presión de descarga en operación normal, lbs/pulg <sup>2</sup> . | Succión máxima recomendada, (pulgadas de Mercurio). |
|-----------------------------|----------------------|---|--|---|------------|---------------------------------------|--|---|
| 60-80<br>100                | CB                   | Sí  | Dos pasos, tipo de engranes. Con filtro en la succión.   | Sundstrand H 8                                      | —          | 45-1750                               | 40   | 10  |
| 125, 150<br>200, 250        | CB                   | No-La bomba es embarcada por separado para que sea instalada cerca del tanque de almacenamiento de combustible. | Un paso, tipo de engranes. Acoplamiento directo.         | Tuthill No. 1 L - 1/2"                              | 1/3        | 140-1750                              | 75   | 12  |
| 300, 350<br>400, 500<br>600 | CB                   |   |  | Tuthill No. 2 L-C-1/2"                              | 3/4        | 270-1750                              | 75   | 12  |
| 700                         | CB                   |   |  | 1 1/2"  | 400-1150   | 75                                    | 10   |   |
| 80<br>100                   | CBH                  | Sí  | Dos pasos, tipo de engranes, con filtro en la succión    | Sundstrand H.B                                      | —          | 40-1750                               | 150-175  | 10  |
| 20                          | Monitor              | Sí  |  | Sundstrand No. H4EA-200                             | —          | 30-1750                               | 95 - 120   | 10  |
| 40                          | Monitor              | Sí  |  | Sundstrand No. H6GA-200                             | —          | 30-1750                               | 95 - 120   | 10  |
| 60                          | Monitor              | Sí  |  | Sundstrand No. H6GA-200                             | —          | 30-1750                               | 95 - 120   | 10  |
|                             |                      |   |  | Sundstrand No. H6GA-200                             | —          | 30-1750                               | 95 - 120   | 10  |

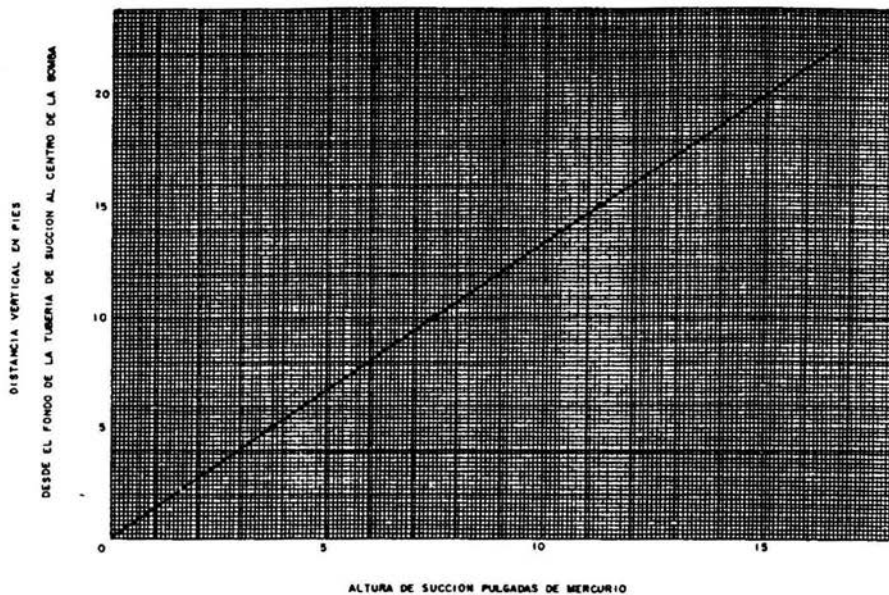
**TABLA No. 2**  
**DIMENSIONES, LOCALIZACIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LA LINEA DE CONEXIÓN**  
**COMBUSTIBLE LIGERO (DIESEL)**

| CC  | M O D E L O C B  |                          |   |                     |                             |
|---|--|--------------------------|---|---------------------|-----------------------------|
|   | Conexiones de suministro y retorno. Dimensiones (Pulgadas) (NPT) | Dimensión "A" (Pulgadas) | Dimensiones recomendables de las líneas de combustible* (Tubería estandar-pulgadas IPS) |                     |                             |
|   |  |                          | Conexiones del tanque de almacenamiento a la caldera o a la bomba.                      | Bomba a la caldera. | Línea de retorno al tanque. |
| ,60<br>,80<br>100<br>125,150<br>200<br>250,300<br>350<br>400,500<br>600 | 3/4  | 8-1/4                    | 3/4   | No                  | 3/4                         |
|   | 3/4  | 8-1/4                    | 3/4   | No                  | 3/4                         |
|   | 3/4  | 8-1/4                    | 1   | No                  | 1                           |
|   | 3/4  | 11-3/4                   | 1   | 1                   | 1                           |
|   | 3/4  | 34                       | 1   | 1                   | 1                           |
| 80<br>100   | 3/4  | 8-1/4                    | 3/4   |                     | 3/4                         |
|   | 3/4  | 8-1/4                    | 3/4   |                     | 3/4                         |
| M O D E L O M O N I T O R   |  |                          |   |                     |                             |
| 15,20   | 3/4  | 12-1/4                   | 3/4   |                     | 3/4                         |
| 40  | 3/4  | 12-1/4                   | 3/4   |                     | 3/4                         |
| 60  | 3/4  | 11-3/8                   | 3/4   |                     | 3/4                         |

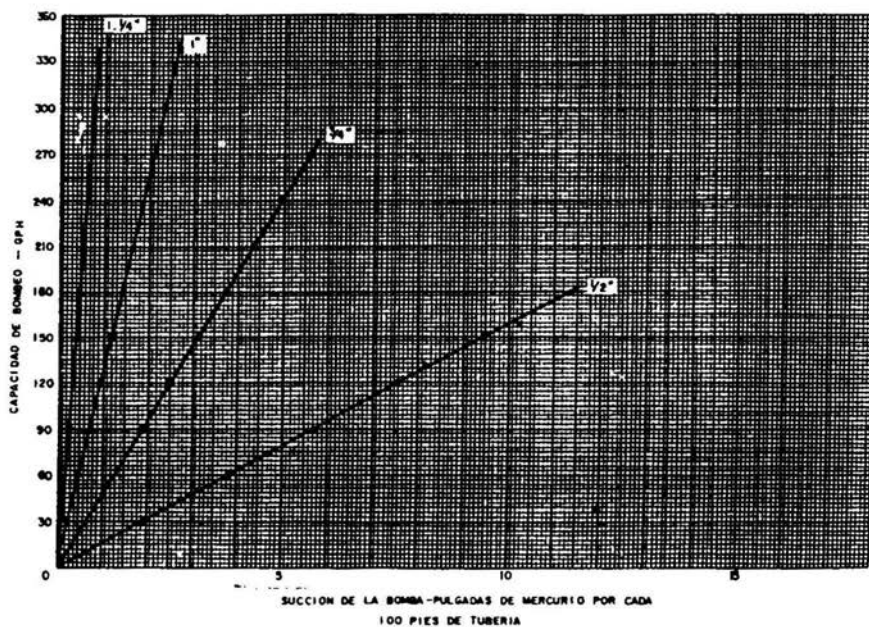
\* Para líneas de succión con una elevación máxima de 10 pies y un total de 100 pies de línea de succión. Consultar instrucciones de dimensionamiento de la línea de combustible para otras condiciones.



GRÁFICA No.3  
ALTURA DE SUCCIÓN BOMBA ACEITE COMBUSTIBLE No. 2 DIESEL  
(Densidad relativa = 0.05      Viscosidad Máxima 40 S.S.U a 100°F)



GRAFICA No. 4  
(Curva basada en una temperatura de bombeo de 40 °F a 68 S.S.U.)





## ANEXO VI. CAPITULO VII

## 7. Acciones que deben realizarse a las calderas para lograr un ahorro tanto de energía como económico, según proveedor.

| <b>OPORTUNIDAD</b>   | <b>RAZÓN</b>  | <b>ACCIÓN</b>  |
|--|---|--|
| <b>1.- ¿Se inspecciona periódicamente su caldera?</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Las calderas que trabajan con poca eficiencia conllevan importantes costes económicos.</li><li>✓ Las comprobaciones periódicas detectan los problemas rápidamente</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Mandé inspeccionar la caldera periódicamente. Inspeccione los siguientes puntos:<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Las luces de alarma;</li><li>✓ Signos de fugas en las tuberías, válvulas, acoples y caldera;</li><li>✓ Olor a gas;</li><li>✓ Daños y marcas de quemado en la caldera o chimenea;</li><li>✓ Ruidos anormales en las bombas o quemadores;</li><li>✓ Bloqueos de los conductos de aire.</li></ul></li></ul> |
| <b>2.- ¿Está la sala de calderas debidamente ventilada con todas las persianas o conductos abiertos y no obstruidos?</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Las restricciones en el suministro de aire a la caldera reducen la eficiencia debido a una combustión incorrecta.</li><li>✓ La ventilación inadecuada puede contribuir a la emisión de gases potencialmente peligrosos, por lo tanto, la ventilación adecuada de la sala de calderas es también un asunto de salud y seguridad.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Haga inspecciones periódicas para asegurarse de que las aberturas de ventilación están libres en todo momento.</li><li>✓ Si tiene dudas asesórese profesionalmente</li></ul>   |
| <b>3.- ¿Inspecciona periódicamente su sistema para ver si tiene fugas?</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Los sistemas con fugas necesitan ser compensados con agua. La adición de agua produce corrosión, depósitos y pérdida de eficiencia.</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Inspeccione el tanque de expansión y alimentación periódicamente. Si se oye la entrada de agua a través de la válvula de llenado, entonces el sistema tiene fugas.</li><li>✓ Si sospecha que hay fugas, llame inmediatamente a un especialista para que las arregle.</li></ul>   |



| <b>OPORTUNIDAD</b>  | <b>RAZÓN</b>  | <b>ACCIÓN</b>   |
|---|---|---|
| <b>4.- ¿Se revisan las calderas periódicamente por profesionales?</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ El aumento de los depósitos de la combustión disminuye la eficiencia de la caldera.</li><li>✓ Una combustión mal ajustada reducirá la eficiencia de la caldera</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ <u>Las calderas y los quemadores deben ser limpiados y revisados periódicamente por un técnico calificado.</u></li><li>✓ La revisión debe incluir una comprobación de la eficiencia de combustión y el ajuste de la proporción aire / combustible del quemador para obtener la eficiencia óptima.</li><li>✓ Indique al técnico que maximice la eficiencia de la caldera y que le presente una hoja de ensayos con los resultados.</li></ul> |
| <b>5.- ¿Controla las prestaciones de sus calderas?</b>                | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Los depósitos de la combustión aumentan las temperaturas de los humos en las chimeneas. Ésto indica una pérdida de calor importante en la caldera.</li><li>✓ Los depósitos calcáreos del agua también pueden causar un aumento de temperatura de los humos.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Estudie instalar un termómetro en la chimenea. La caldera necesita limpiarse cuando la temperatura máxima de los gases en la chimenea aumente más de 40°C sobre la del registro del último servicio.</li></ul>  |
| <b>6.- ¿Están aisladas todas las calderas?</b>                        | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Las calderas sin aislamiento pierden calor hacia las zonas circundantes. Esto supone un gasto adicional de energía.</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Compruebe que las calderas están debidamente aisladas (como mínimo 50 mm en el grosor del aislamiento).</li><li>✓ Si no están aisladas ponga una manta de 50 mm de roca mineral (muchos fabricante suministran aislantes a la medida para sus unidades)</li></ul>   |



ANEXO VII. FOTOGRAFIAS

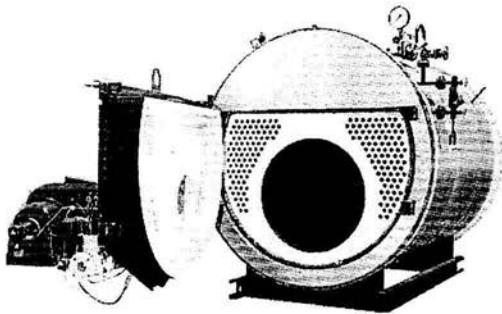
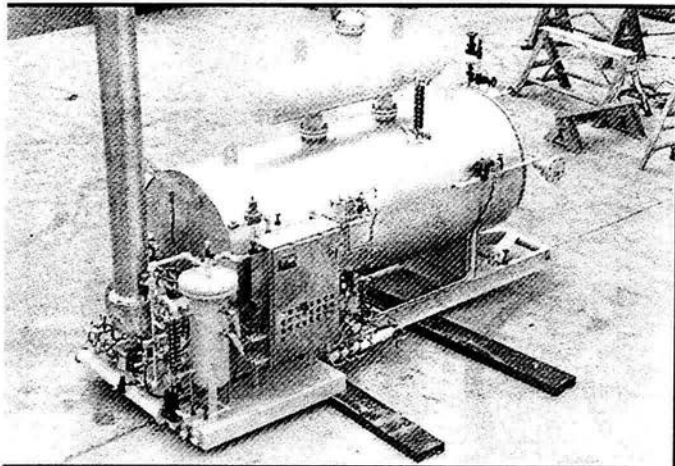


Fig. Parte frontal de caldera tubo de humo, se puede observar hogar y fluxes.

Fig. En esta figura se puede observar la caldera con su chimenea y deaerador integrado en la parte superior.



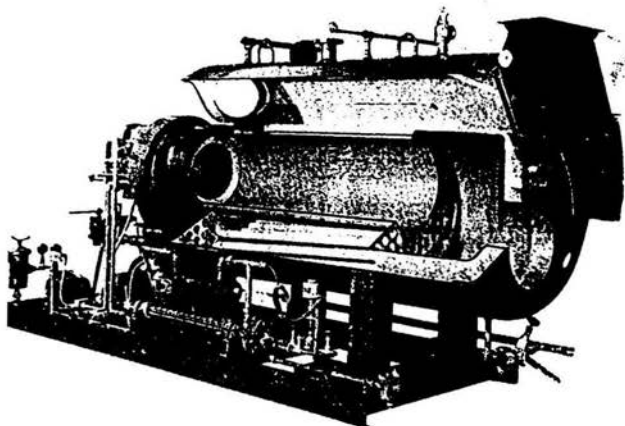


Fig. Corte de caldera mostrando sección del hogar.

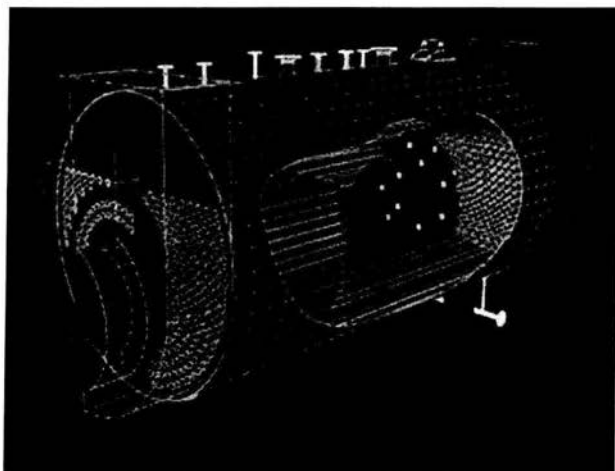


Fig. Internos de caldera

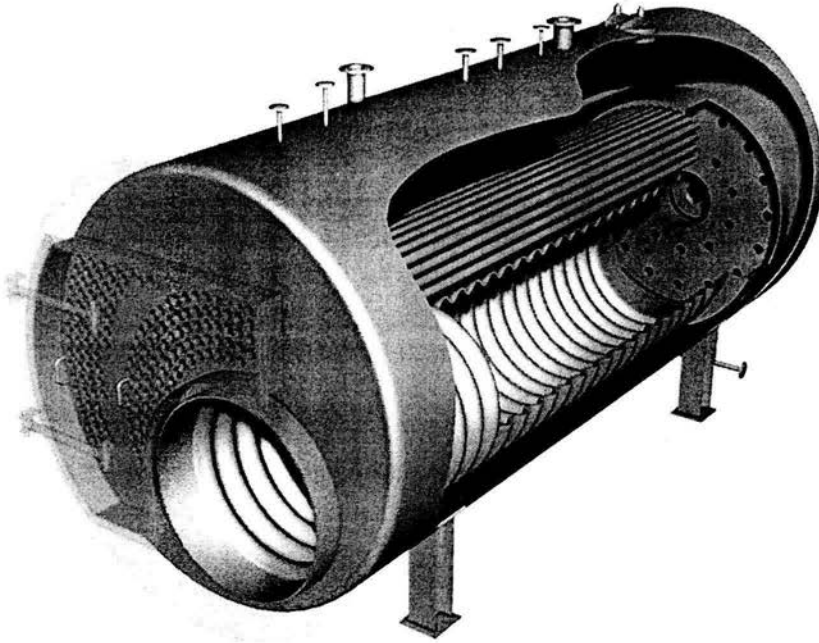


Fig. Corte longitudinal de caldera tipo tubo de humo.