

**la  
SEGURIDAD  
en  
CALDERAS**



INSTITUTO NACIONAL  
DE SEGURIDAD E HIGIENE  
EN EL TRABAJO

# **LA SEGURIDAD EN CALDERAS**



# **LA SEGURIDAD EN CALDERAS**

**MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES**

**INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD  
E HIGIENE EN EL TRABAJO**



**Autor**

Francisco Alonso Valle. C.N.N.T. Madrid

**Diseño de la cubierta**

Cruz Gala, José Miguel. Servicio de Ediciones y Publicaciones. I.N.S.H.T.- Madrid

**Edita:**

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo  
Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID

**Composición e impresión:**

Servicios de Ediciones y Publicaciones. I.N.S.H.T.

I.S.B.N.: 84-7425-454-X  
Dep. Legal: M. 39364-1996  
N.I.P.O: 211-96-022-1

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento a las siguientes empresas, por la cesión desinteresada de las fotografías que ilustran este texto:

*Mc. Graw-Hill Books Co.*

*Generadores de Vapor Foster Wheeler S.A.*

*Babcock Wilcox Española S.A.*

El autor.

## **PRESENTACIÓN**

*La generación de vapor y agua caliente está ampliamente extendida, tanto a nivel industrial como doméstico, siendo las calderas los principales equipos empleados para dicho cometido. Las calderas, cuya evolución desde la primitiva caldera de Stephenson ha ido paralela al desarrollo técnico, almacenan durante su funcionamiento un gran potencial energético, que en el caso de fallo, como ha ocurrido desgraciadamente en muchas ocasiones, tiene un gran poder destructivo.*

*Esta es la razón por la que se han querido divulgar, en este texto, las principales anomalías que se pueden producir en las calderas y los riesgos que llevan aparejados, al objeto de que las personas implicadas en las mismas, tanto en su conducción como en el establecimiento de medidas preventivas, puedan determinar las pautas a seguir y así contribuir a un funcionamiento seguro de estos aparatos.*

**Javier Gómez-Hortigüela Amillo**  
Director del I.N.S.H.T.  
ENERO. 1997



## ÍNDICE

### GENERALIDADES SOBRE APARATOS A PRESIÓN

|                       |   |
|-----------------------|---|
| I. INTRODUCCIÓN ..... | 3 |
|-----------------------|---|

### DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

|   |    |
|---|----|
| II. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS CALDERAS:<br>DEFINICIÓN DE CALDERA ..... | 7  |
| III. CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS DE VAPOR .....                       | 11 |
| IV. ELEMENTOS QUE SE INTEGRAN EN UNA CALDERA ..                         | 13 |

### DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE CALDERAS

|   |    |
|---|----|
| V. INTRODUCCIÓN .....                       | 21 |
| VI. CALDERAS PIROTUBULARES .....            | 23 |
| 1. Hogar .....                              | 23 |
| 2. Cámara del hogar .....                   | 27 |
| 3. Haz tubular .....                        | 28 |
| 4. Cajas de humos .....                     | 33 |
| VII. CALDERAS PIROTUBULARES VERTICALES..... | 35 |

|       |                              |    |
|-------|------------------------------|----|
| VIII. | CALDERAS ACUOTUBULARES ..... | 37 |
| 1.    | Hogar .....                  | 39 |
| 2.    | Haz de Convección .....      | 40 |
| 3.    | Calderines .....             | 41 |
| 4.    | Sobrecalentador.....         | 45 |
| 5.    | Economizador .....           | 46 |
| 6.    | Precalentador de Aire .....  | 47 |
| 7.    | Recalentador de Vapor .....  | 48 |

## **CAUSAS DE ACCIDENTES Y AVERÍAS EN CALDERAS**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| IX. | INTRODUCCIÓN .....  | 53 |
| X.  | PRINCIPALES CAUSAS DE ACCIDENTES Y AVERIAS EN<br>CALDERAS ..... | 55 |

## **RIESGOS DE ACCIDENTES Y AVERÍAS EN CALDERAS PIROTUBULARES**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| XI.   | INTRODUCCIÓN .....  | 59 |
| XII.  | RIESGO DE FISURACION DE TUBOS DE HUMOS<br>Y DE LA PLACA TUBULAR .....       | 61 |
| XIII. | RIESGO DE FISURAS Y ROTURAS EN SOLDADURAS<br>DE ELEMENTOS DE REFUERZO ..... | 63 |
| XIV.  | RIESGO DE CORROSION EN EL AGUA .....  | 65 |
| XV.   | RIESGO DE DEFORMACION DEL HOGAR .....                                       | 67 |
| 1.    | Deformación del hogar debido a la presión .....                             | 67 |
| 2.    | Falta de agua en la caldera .....   | 67 |
| 3.    | Depósitos e incrustaciones en la pared del hogar .....                      | 73 |
| 4.    | Mal reglaje de la llama del quemador.....                                   | 74 |
| 5.    | Ausencia de circulación de agua.....  | 75 |
| XVI.  | RIESGO DE FISURAS EN EL HOGAR .....   | 77 |
| 1.    | Fisuras en la zona de apertura de llama .....                               | 77 |

|   |    |
|---|----|
| 2. Fisuras en la zona posterior del hogar.....  | 77 |
| XVII. RIESGO DE ESCAPES EN LA UNION DE LOS TUBOS<br>DE HUMOS CON LA PLACA TUBULAR ..... | 79 |
| XVIII. RIESGO DE CORROSION EN EL LADO FUEGO .....                                       | 81 |
| XIX. RIESGO DE EXPLOSION EN EL LADO FUEGO .....   | 83 |
| XX. OTROS RIESGOS .....   | 85 |

## **RIESGOS DE ACCIDENTES Y AVERÍAS EN CALDERAS ACUOTUBULARES**

|  |     |
|--|-----|
| XXI. INTRODUCCION .....  | 89  |
| XXII. RIESGO DE DEFORMACIÓN Y ESTALLIDO DE TUBOS   | 91  |
| 1. Mala refrigeración de los tubos.....  | 91  |
| 2. Mal reglaje del quemador .....  | 94  |
| 3. Sobrecarga de la caldera .....  | 94  |
| XXIII. RIESGO DE FISURAS EN LOS TUBOS DEL HOGAR .....                                      | 95  |
| XXIV. RIESGO DE CORROSION EXTERIOR DE TUBOS .....  | 99  |
| 1. Corrosión de tubos recubiertos de refractario.....                                      | 99  |
| 2. Corrosión por hollines .....  | 99  |
| 3. Corrosión de tubos bajo el aislamiento .....  | 101 |
| XXV. RIESGO DE EROSION DE TUBOS EN EL HAZ<br>DE CONVECCION .....                           | 103 |
| 1. Sopladores de hollín mal regulados .....  | 103 |
| 2. Acción de cenizas y hollines.....   | 103 |
| XXVI. RIESGO DE CORROSION INTERNA DE TUBOS.....  | 105 |
| XXVII. RIESGO DE DEFORMACION, ROTURA Y CORROSION<br>DE LOS TUBOS DEL SOBRECALENTADOR ..... | 107 |
| 1. Incidentes en la puesta en marcha.....  | 107 |

|   |     |
|---|-----|
| 2. Incidentes en operación .....  | 107 |
| 3. Corrosión en el sobrecalentador .....  | 108 |
| <br>XXVIII. RIESGO DE CORROSION, ROTURA Y DEFORMACION<br>DE LA ENVOLVENTE EXTERIOR DE LAS CALDERAS .. |     |
| 1. Corrosiones .....  | 111 |
| 2. Rotura de la envolvente .....  | 111 |
| 3. Explosión en el lado fuego .....   | 113 |
| <br><b>MEDIDAS PREVENTIVAS</b>  |     |
| XXIX. INTRODUCCIÓN .....  | 117 |
| XXX. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL APARATO .....   | 119 |
| <br>XXXI. CONDUCCIÓN O MANEJO DEL APARATO .....   |     |
| 1. Operaciones de preparación de la caldera.....  | 121 |
| 2. Llenado de la caldera .....  | 122 |
| 3. Secado de la caldera .....   | 122 |
| 4. Hervido de la caldera .....  | 122 |
| 5. Conducción de la caldera .....   | 124 |
| 6. Prescripciones de seguridad. Normas de Seguridad<br>y de Funcionamiento de las calderas .....      | 128 |
| 7. Tratamiento del agua de alimentación de las calderas .....   | 129 |
| <br>XXXII. MANTENIMIENTO DE CALDERAS .....  |     |
| 1. Medidas Preventivas a tener en cuenta durante las<br>operaciones de mantenimiento .....            | 137 |
| 2. Conservación de la caldera durante la parada<br>de la misma: Conservación húmeda y seca.....       | 139 |
| XXXIII. Formación e información del operador de la caldera .....                                      | 141 |
| <br><b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>   | 145 |

# **GENERALIDADES SOBRE APARATOS A PRESIÓN**



# I

## INTRODUCCIÓN

La invención en el siglo XIX de la caldera de vapor, no sólo supuso el inicio de la revolución industrial que ha conducido a las modernas tecnologías empleadas hoy en día en el proceso productivo, sino que también fue el origen de los aparatos a presión, al ser la caldera de vapor el primero de dichos aparatos. Desde aquellos días la extensión y aplicación de dichos aparatos ha sobrepasado el estricto ámbito industrial, hasta encontrarse en cualquier ámbito de la actividad humana, como por ejemplo el doméstico, bombonas de gas para uso domiciliario.

La existencia de un fluido a presión en el interior de un recipiente, es decir, un aparato a presión, comporta la existencia de un riesgo, ante la eventualidad de un escape del fluido e incluso la rotura del recipiente, en cuyo caso la energía liberada puede producir graves daños.

Pero no sólo eso, sino que, en función de las características del fluido contenido, los riesgos pueden verse aumentados al sumarse al propio riesgo de la presión, como por ejemplo la alta temperatura del vapor de una caldera.

Todo ello hace necesario que, para minimizar los riesgos de los aparatos a presión, sean proyectados, construidos, montados, probados y mantenidos, de acuerdo con las premisas establecidas por los códigos y/o reglamentaciones establecidos por los distintos países y que tienen como finalidad la seguridad del producto.

En su concepción más genérica, se puede decir que aparatos a presión son aquellos que en su utilización normal se encuentran a una presión distinta de la atmosférica, y que contienen fluidos a distintas temperaturas.

Esta concepción genérica y perfectamente válida ha de ser matizada en función de las distintas Reglamentaciones referentes a los mismos y que, en el caso concreto de nuestro país, viene determinada por el Reglamento de Aparatos a Presión del año 1979 ( R.A.P.), en el cual se entiende como Aparato a Presión: “Los destinados a la producción, almacenamiento, transporte y utilización de fluidos a presión, en los términos que resulten de las correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias, que se desarrolle en función del citado Reglamento”.

Hay que indicar, así mismo, que no se incluyen, en el ámbito de aplicación del mismo, los depósitos y cisternas dedicados al transporte de mercancías peligrosas, que deberán atenerse a lo establecido por el Acuerdo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (A.D.R) y el Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (T.P.C.), reglamentaciones éstas de ámbito europeo y nacional, respectivamente, referidas a dicho transporte.

Finalmente hay que indicar que la Unión Europea, en su Directiva 76/767/CEE, define como aparatos a presión, aquellos fijos o móviles en los que se pueda desarrollar una presión superior a 0,5 bar, excluyendo de los mismos los concebidos para uso nuclear, en barcos y aeronaves, así como las tuberías de transporte y distribución.

Son numerosos los criterios que se pueden emplear a la hora de clasificar los aparatos a presión; así se podrían establecer por: el fluido contenido, el rango de presiones, el volumen, etc., si bien de una forma universalizada se ha adoptado el clasificarlos en dos grandes grupos: Aparatos a presión sometidos a la acción de la llama y no sometidos a la acción de la misma.

- Aparatos a presión sometidos a la acción de la llama: son aquellos que contienen un fluido presurizado y que están expuestos al calor desprendido en la combustión de un combustible.
- Aparatos a presión no sometidos a la acción de la llama: son aquellos aparatos diseñados para soportar una determinada presión, que no están sujetos al calor de los productos de combustión, ni forman parte integrante de un equipo sometido a la acción de la llama.

# **DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS**



## II

### **EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS CALDERAS: DEFINICIÓN DE CALDERA**

En el anterior capítulo se ha efectuado la definición y clasificación de los aparatos a presión, encuadrando a las calderas, como aparatos a presión sometidos a la acción de la llama, y sirviendo en su conjunto como preámbulo del objetivo que persigue este texto, es decir, la descripción elemental de las partes que componen una caldera, los riesgos y las medidas preventivas a tener en cuenta en la utilización de las mismas.

En su concepción más elemental, se entiende como caldera todo aparato destinado a la producción de vapor, mediante el aporte de calor obtenido de la combustión de un combustible.

De hecho, las primitivas calderas consistían en un depósito único, de forma cilíndrica y eje horizontal, bajo el cual se quemaba el combustible. Este depósito disponía de poca superficie de calefacción en relación con su volumen, lo que originaba un defectuoso aprovechamiento del calor desarrollado por la combustión, ya que, como es conocido, para un volumen dado, el intercambio de calor es tanto mayor cuanto mayor es dicha superficie.

A partir de dicha concepción elemental y con objeto de aumentar la superficie de intercambio, las calderas fueron evolucionando, empleando cuerpos metálicos de forma más complicada, agregando los llamados hervidores, constituidos por depósitos cilíndricos supletorios expuestos al fuego y comunicados con el cuerpo cilíndrico o calderín, por los llamados calzones o comunicadores (Figura 1).

Más adelante se adoptó el sistema de hacer pasar los gases producidos en la combustión a través de tubos colocados en el interior del calderín, lo que dio origen a las calderas pirotubulares o de tubos de humos (Figura 2).

En las calderas de las que venimos hablando, el combustible empleado era sólido y se quemaba sobre una superficie plana formada por barrotes paralelos entre los que se dejaban intersticios y que constituyan la parrilla, bajo la cual se encontraba el recinto denominado "cenicero", al cual pasaban las escorias y residuos de la combustión para su evacuación.

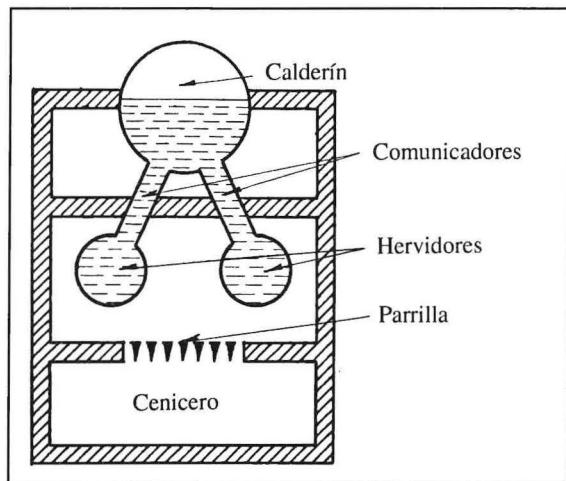


Figura 1

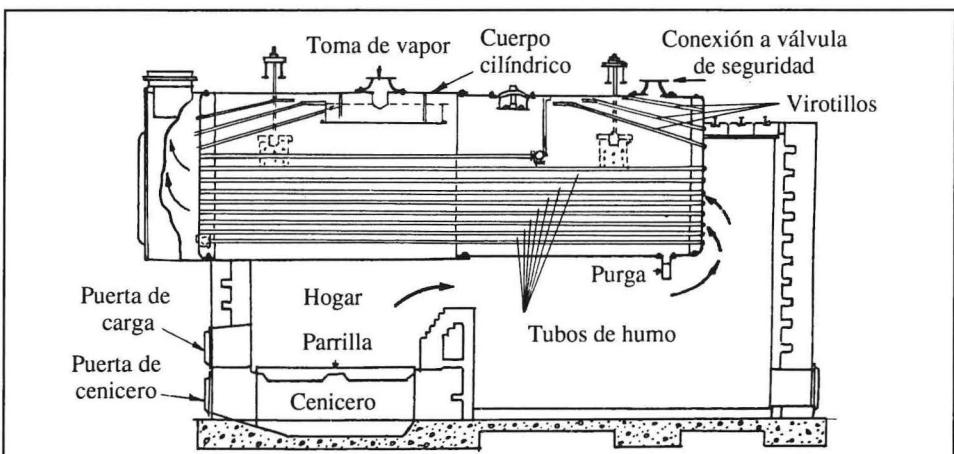


Figura 2

Siguiendo la evolución de las calderas, y siempre con vistas a aumentar su capacidad de vaporización, nacieron las calderas de tubos de agua o acuotubulares y se empezaron a utilizar combustibles distintos a los sólidos, dando lugar a las sofisticadas calderas que se construyen hoy en día, y que permiten definir a una caldera como: Aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.



### **III**

## **CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS DE VAPOR**

A la hora de clasificar una caldera de vapor se pueden tener en cuenta una gran variedad de criterios de clasificación, razón por la cual se exponen a continuación algunos de ellos, los más generalizados, remitiendo al lector a las normas UNE 9001 y 9002, si desea una clasificación mucho más extensa.

A) Según la disposición de los fluidos:

- Calderas de tubos de agua o acuotubulares, en las cuales el fluido portador de calor circula por el interior de tubos, cuya superficie externa está bañada por los gases de la combustión.
- Calderas de tubos de humos o pirotubulares, calderas que disponen de tubos sumergidos en el fluido caloriportante y por cuyo interior circulan los gases calefactores.

B) Según la circulación de los fluidos:

- Calderas de circulación natural: son aquellas en las que el movimiento del fluido caloriportante se obtiene por circulación natural, debido a diferencias de densidad.
- Calderas de circulación asistida: son aquellas calderas en las que, en ciertas partes de las mismas, el movimiento del fluido caloriportante se obtiene mediante una bomba.
- Calderas de circulación forzada: en ellas el movimiento del fluido portador se obtiene mediante una bomba, que impulsa la totalidad del fluido a través de la caldera.

C) Según la forma de transmisión del calor:

- De convección.
- De radiación.
- De convección y radiación.

D) Según el combustible empleado:

- De carbón.
- De combustibles líquidos.
- De combustibles gaseosos.
- De combustibles especiales (licor negro o lejías negras, residuos vegetales, etc.)
- Policombustibles.

E) Segundo la presión de la caldera:

- De baja presión, P igual o menor que 1 bar.
- De media presión, P mayor de 1 bar y menor o igual que 13 bares.
- De alta presión, P mayor que 13 bares.

F) Segundo el fluido utilizado como portador calórico:

- Calderas de vapor de agua, que a su vez pueden ser de vapor a la temperatura de saturación, o bien de vapor sobresaturado.
- Calderas de agua, que a su vez pueden ser de agua caliente, temperatura inferior a 110º C, o de agua sobrecaleñada, temperatura mayor que 110º C.
- Calderas de fluido térmico, en ellas se emplea un fluido caloriportante, distinto al agua o vapor de agua.

## **IV**

### **ELEMENTOS QUE SE INTEGRAN EN UNA CALDERA**

Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, cada uno de los cuales puede tener sus características propias, en general, entre los elementos que entran a formar parte de una caldera, se encuentran los siguientes:

#### *Hogar*

Cámara donde se realiza la combustión del combustible utilizado como fuente de energía.

#### *Haz vaporizador*

Conjunto de tubos donde se realiza parcialmente la vaporización del agua contenida en la caldera.

#### *Calderín*

Recipiente, generalmente de forma cilíndrica, en donde se recoge el vapor producido en la caldera antes de su salida, bien para consumo o para pasar al sobre-calentador, o está inundado de agua y dispuesto en la parte baja de la caldera, y del cual parten los tubos vaporizadores.

#### *Economizador*

Elemento que recupera el calor sensible de los gases de salida de una caldera, para aumentar la temperatura del agua de alimentación de la misma.

### *Precalentador de aire*

Elemento que recupera el calor sensible de los gases de salida de una caldera para aumentar la temperatura del aire de combustión de la misma.

### *Sobrecalentador*

Elemento en donde, por intercambio calorífico, se eleva la temperatura del vapor saturado producido en la caldera.

### *Recalentador*

Elemento en donde se eleva la temperatura del vapor parcialmente expansionado, para volver a ser utilizado.

### *Atemperador*

Elemento en donde se regula la temperatura del vapor sobrecalentado y/o recalentado para adaptarla a las necesidades. Puede ser del tipo “pulverización”, en donde la regulación de la temperatura se efectúa mediante pulverización de agua, o bien del tipo “sumergido”, en el cual se hace circular una parte del vapor a atemperar, a través de un serpentín sumergido en el agua de la caldera.

### *Circuitos de fluidos:*

- Circuito de combustible: es el encargado de aportar y quemar el combustible utilizado en la caldera para aportar calor. Este circuito, cuyo diseño depende del combustible utilizado, presenta un elemento a resaltar, el quemador, el cual introduce el combustible en el hogar, en la proporción, velocidad y turbulencia requeridas en cada caso, para establecer y mantener la ignición y la combustión apropiadas según el combustible utilizado.
- Circuito de agua de alimentación: es el encargado de aportar a la caldera, durante su funcionamiento, el agua necesaria, incluyendo tanto el agua de nueva aportación como los condensados de retorno.

Dentro de este circuito, tiene particular importancia, debido a su incidencia sobre el funcionamiento y la seguridad de la caldera, la unidad de tratamiento de agua, en la cual el agua de nueva aportación se somete a tratamiento para liberarla del oxígeno disuelto, sales disueltas, precipitados, sustancias incrustantes y demás elementos contaminantes.

- Circuito de aporte de aire de combustión: es el encargado del suministro continuo del aire necesario para sostener el proceso de combustión en la caldera y, a su vez, evacuar los gases producidos en la misma. Esto se

puede efectuar utilizando el tiro que provocan los propios gases de combustión por efecto de succión de la chimenea, lo que da lugar a las calderas de tiro natural, si bien lo más generalizado es la instalación de ventiladores que proporcionan un tiro forzado, complementando a cualquier tiro natural existente.

En cuanto a la disposición del ventilador, puede disponerse de forma que suministre aire a presión al quemador, tiro forzado, o bien que aspire los gases calientes del equipo de adsorción de calor y los envíe a la chimenea, tiro inducido, siendo práctica común el que dispongan de los dos tipos.

Según la disposición de dicho ventilador, da origen a dos tipos de hogares de caldera:

- Hogar en depresión. Estando en servicio la caldera la presión en el mismo es inferior a la atmosférica, bien por tratarse de una caldera de tiro natural o de tiro inducido.
- Hogar equilibrado. Estando en servicio, la presión está comprendida entre la atmosférica o ligeramente inferior, debido a la acción de un tiro forzado y otro inducido, simultáneamente.
- Hogar en sobrepresión. Estando en servicio, la presión es superior a la atmosférica, debido a la acción de un ventilador de tiro forzado.

#### *Accesorios y elementos adicionales*

Entre ellos se encuentran una amplia gama de elementos tales como:

- Válvulas: que pueden ser de retención, purga, paso, seguridad, etc., siendo estas últimas de vital importancia para la caldera, en tanto determinan la seguridad de la misma frente al aumento de la presión.
- Indicadores de nivel: que visualizan el nivel de agua existente en la caldera, de vital importancia en calderas de nivel definido.
- Controladores y limitadores de nivel: El controlador es un dispositivo encargado de vigilar de forma automática el nivel de agua y de enviar la señal correspondiente al sistema de control de agua de alimentación, con el fin de mantener el nivel de agua en el interior de la caldera, dentro de unos niveles previamente establecidos.

En cuanto al limitador del nivel de agua, controla la cota del nivel de agua alcanzado en la caldera, de forma que, al llegar a unos límites previamente establecidos, envía la señal correspondiente al dispositivo de seguridad del equipo.

- Manómetros y termómetros: indicadores de la presión relativa de un recinto y de su temperatura, respectivamente.

- Presostatos y limitadores de presión: dispositivos que controlan la presión en el interior de una caldera, y que envían la señal correspondiente al dispositivo de seguridad del equipo, en el instante en que aquella alcanza un valor predeterminado.
- Termostatos o limitadores de temperatura: controlan el nivel térmico del fluido a calentar y envían la señal correspondiente al dispositivo de seguridad del equipo, tan pronto la temperatura alcanza un nivel predeterminado.
- Manorreductores: encargados de reducir la presión de un fluido.
- Pirómetros: elementos que miden la temperatura según funcionamiento piezoeléctrico.
- Alarmas: que avisan, accionando una bocina, timbre, luz o cualquier otro dispositivo, de condiciones anormales de servicio.
- Células fotoeléctricas: detectan la llama, durante la combustión del combustible de la caldera, y envían la señal correspondiente, en caso de desaparición de la llama, al elemento o dispositivo que controla la combustión.
- Columna de agua: elemento tubular vertical y transparente, conectado en su parte superior con la cámara de vapor de la caldera y en su parte inferior con la cámara de agua, indicando el nivel alcanzado por el agua en la misma.

A dicho elemento pueden estar conectados el indicador de nivel de agua, las alarmas de alto y bajo nivel de agua, así como el dispositivo de corte del combustible.

- Controles de la combustión: sistemas para ajustar de forma automática la cantidad de aire necesario para la combustión de la cantidad de combustible que requiere el servicio de la caldera.
- Controles de presión: sistema que vigila de forma automática la presión del vapor en la caldera, y envía la señal correspondiente al sistema de regulación de la combustión, a fin de aumentar o disminuir la cantidad de combustible a quemar, con objeto de mantener el valor de la presión dentro de unos límites predeterminados.
- Controles de temperatura: dispositivos que vigilan de forma automática la graduación térmica del fluido a calentar, para aumentar o disminuir la aportación calorífica, con el fin de asegurar que la temperatura se mantenga dentro de unos límites predeterminados.
- Mirillas: orificio, o pequeña apertura, provisto de cristal de protección, a través del cual puede observarse la combustión y/o circulación de fluidos.
- Paneles de instrumentos: armario o pupitre en donde están reunidos los indicadores de las magnitudes controladas de los parámetros de servicio de una caldera.

- Tapones fusibles: tapón roscado con interior hueco, que se rellena de un material que presenta un punto de fusión bajo, y que generalmente se coloca en el punto más inferior del nivel de agua permitido.
- Sopladores de hollín: dispositivo mecánico que descarga vapor o aire para limpiar las superficies de calefacción.
- Accesos a la caldera: que tienen por objeto la inspección y limpieza de la misma.



# **DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE CALDERAS**



# V

## INTRODUCCIÓN

Existen distintas patentes de fabricación de calderas, cuya mayor o menor complejidad viene determinada por la aplicación a que se destina. Sin embargo, en su conjunto, las calderas se pueden encuadrar en dos grandes grupos; calderas pirotubulares y calderas acuotubulares.

En los siguientes apartados se efectúa una descripción sencilla de las partes principales de que constan las calderas, debiéndose de tener en cuenta que, junto a dichas partes, se encuentran otros elementos y equipos auxiliares, de los indicados en el punto 4 del Capítulo II. “Elementos que se integran en una caldera”.



## VI

### CALDERAS PIROTUBULARES

Como ya se ha indicado anteriormente, estas calderas disponen de tubos sumergidos en el fluido caloripartante, por cuyo interior circulan los gases de combustión, realizándose el intercambio térmico a través de las paredes de dichos tubos. En las Figuras 3 y 4, se muestra un esquema genérico de estas calderas, así como una moderna caldera pirotubular.

Se puede apreciar en ellas cómo, en el funcionamiento de la caldera una vez completada la combustión del combustible en un hogar, los gases resultantes son dirigidos hacia un haz tubular, pasando posteriormente a la chimenea, a través de la cual se eliminan a la atmósfera.

#### 1. HOGAR

Es la cámara donde se realiza la combustión del combustible utilizado en la caldera y donde tiene lugar la transmisión de calor al fluido caloripartante por radiación.

Se puede decir que es la parte más importante de la caldera y a su vez la más delicada, y de su diseño geométrico depende que se pueda realizar una buena formación de la llama y por lo tanto que se complete en el mismo la combustión de todo el combustible aportado. Por otra parte, al estar sometido a la acción de la llama y su alta temperatura, será necesario que tenga la dilatabilidad y resistencia adecuadas.

La forma geométrica del hogar es en general cilíndrica, si bien pueden existir

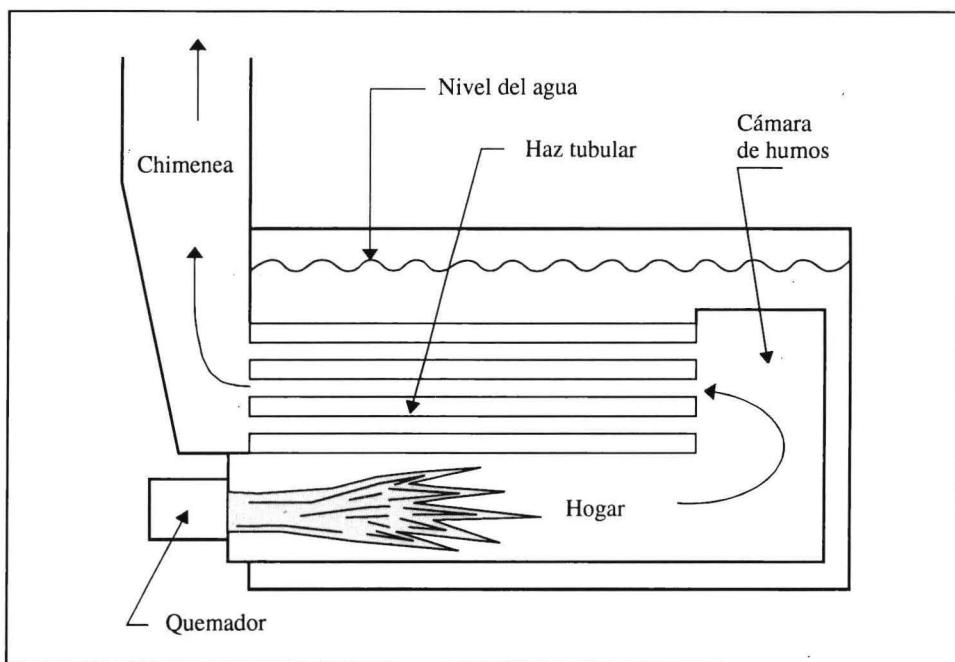


Figura 3

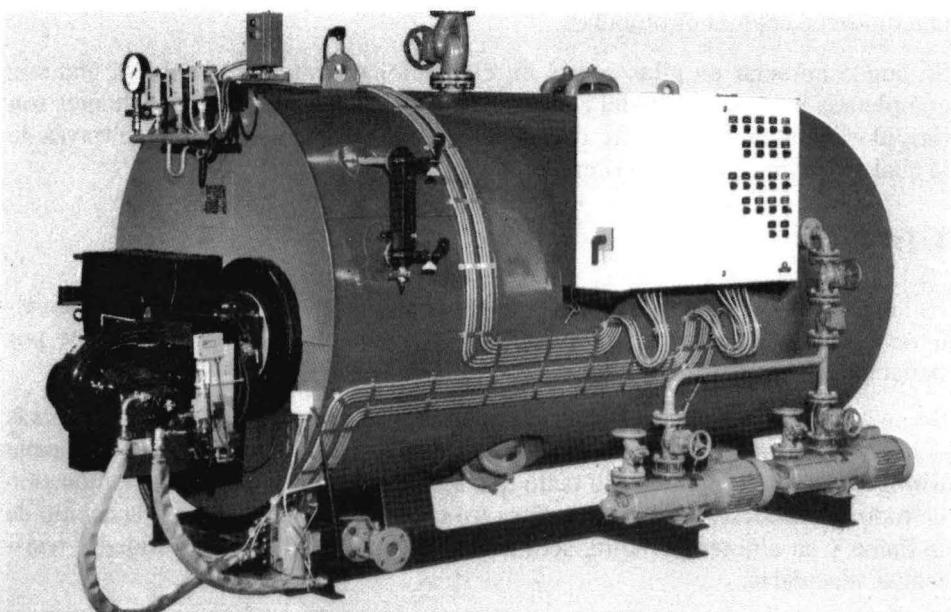


Figura 4

otras formas, hechas de material refractario, tal como se ve en la Figura 5, correspondiente a una caldera de carbón.

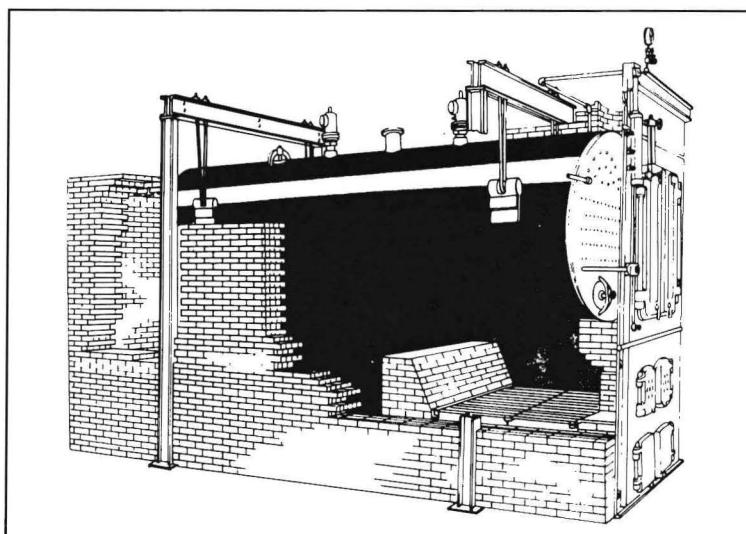


Figura 5

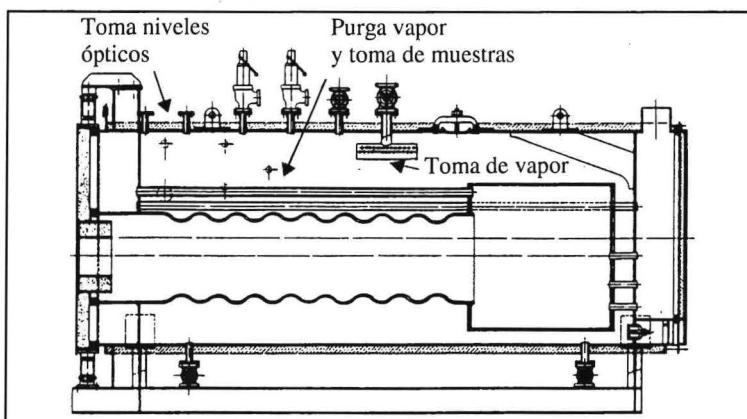


Figura 6

Los hogares circulares están constituidos por cilindros de chapa, en los cuales, y con objeto de obtener una dilatabilidad adecuada, se recurre, o bien a cilindros de pared lisa, en cuyo caso los extremos pueden estar corrugados o disponer de ondas de dilatación intermedia, o bien a cilindros corrugados a lo largo de toda la generatriz. Figuras 6 y 7.

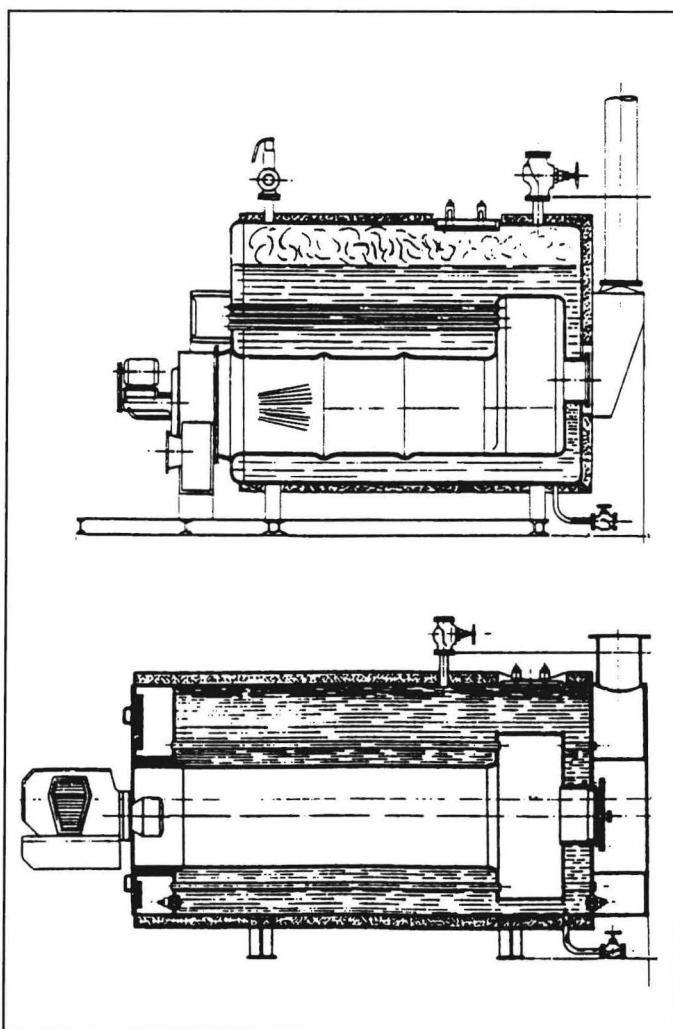


Figura 7

Dado que la superficie exterior del hogar está sometida a la presión del fluido caloriportante, deberá poseer la suficiente resistencia, por lo que en el caso de hogares cilíndricos con paredes lisas, o con paredes corrugadas en las que se necesite mayor resistencia que la obtenida por ondulación, se recurre a rigidizadores soldados circularmente, si bien han existido otras soluciones como el arriostramiento de la pared externa del hogar con la envolvente de la caldera, Figura 8, la división del hogar en secciones unidas mediante bridas, anillos de Adamson, etc.

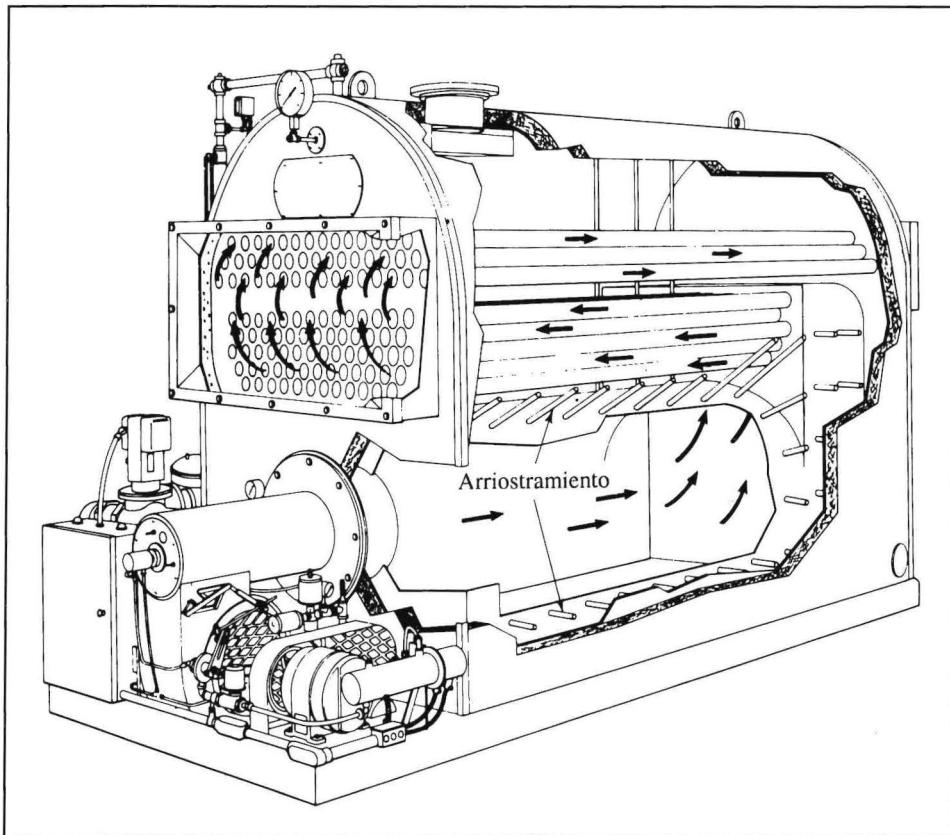


Figura 8

## 2. CÁMARA DEL HOGAR

Una vez completada la combustión en el hogar del combustible, y según sea el diseño de la caldera, puede existir a continuación una cámara cuyo objeto es permitir que los gases resultantes de la combustión entren en el haz tubular. Esta cámara, denominada, Cámara del Hogar, puede obedecer a alguno de los siguientes diseños, contemplados en la Figura 9.

- Cámara húmeda: la envolvente está totalmente rodeada de agua y por lo tanto refrigerada.
- Cámara seca: las paredes están fabricadas con ladrillo refractario.
- Cámara semiseca: la pared trasera es de material refractario y la envolvente está refrigerada por agua.

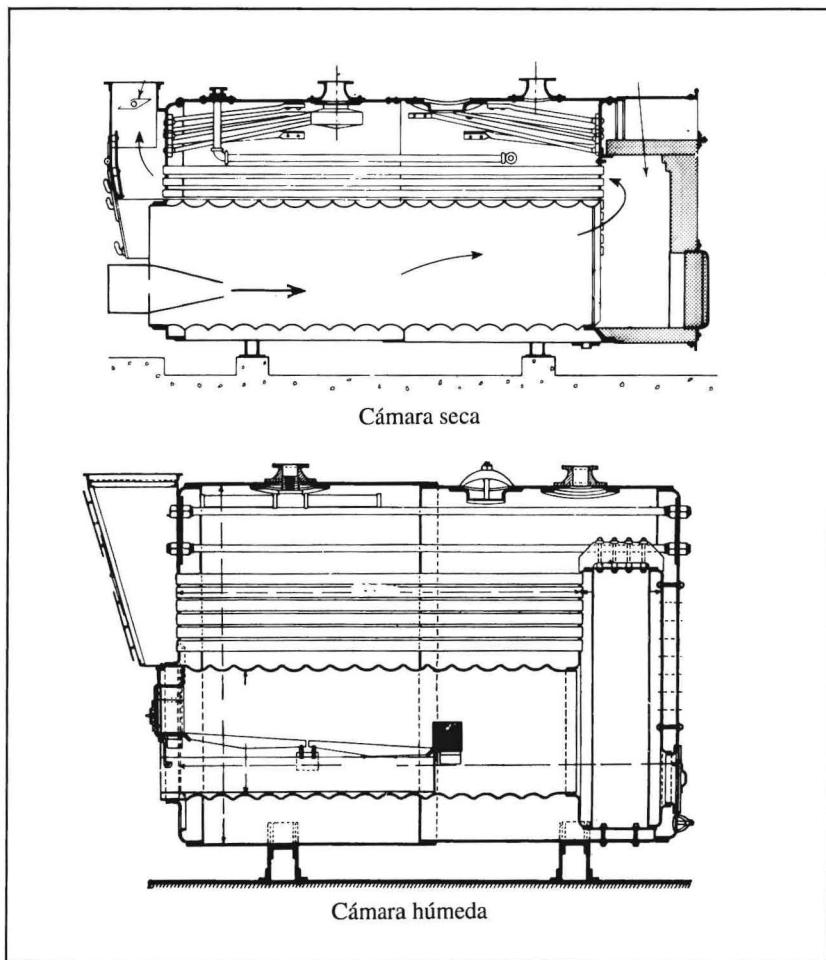


Figura 9

En las cámaras húmedas y semisecas, es corriente que sus envolventes presenten zonas planas, por lo cual, y al objeto de que los espesores de chapa no resulten excesivos, se suele proceder a rigidizarlas, tal como se puede ver en las anteriores figuras, para que el espesor de la chapa no resulte excesivo.

### 3. HAZ TUBULAR

Siguiendo el recorrido de la caldera, los gases de combustión pasan desde la cámara del hogar al interior del haz tubular, en el que las paredes externas de los

tubos que lo conforman están rodeadas por el agua de la caldera, constituyendo la superficie de intercambio de calor por convección y conducción.

Un haz tubular está constituido por dos placas tubulares planas y una serie de tubos, denominados “tubos de humos”, que unen dichas placas, por inserción en agujeros practicados en ellas. La disposición de los tubos en las placas puede ser en forma cuadrada o triangular, Figura 10.

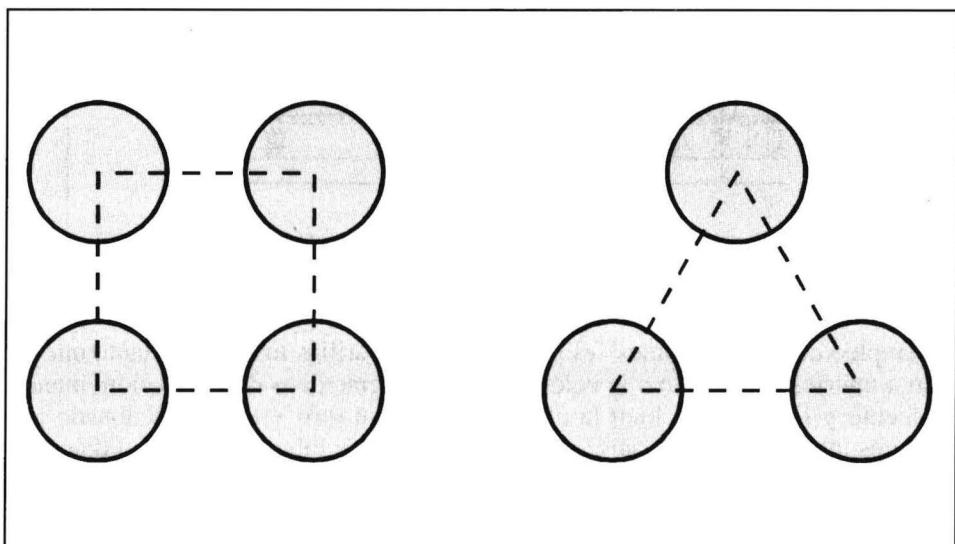


Figura 10

En el segundo de los casos hay un escalonamiento de los tubos, lo que se traduce en una mejor circulación de agua, que favorece el intercambio de calor, mientras la disposición cuadrada, o alineamiento de tubos, favorece la inspección y limpieza de los tubos en el lado agua.

Dado que las superficies planas de las placas tubulares presentan una menor resistencia a la deformación bajo los efectos de la presión, y las caras internas de dichas placas están sometidas a la presión del fluido caloripartante, deben poseer la suficiente rigidez, lo que se consigue mediante arriostramiento, el cual puede efectuarse de las siguientes formas:

- Empleando un cierto número de tubos, denominados “tubos tirantes”, que en definitiva son tubos de humos de mayor espesor.
- Empleando arriostramientos distintos a los tubos, que pueden ser varillas macizas uniendo las placas tubulares o bien arriostrando la placa tubular con la carcasa de la caldera, tal como se muestra en la Figura 11.

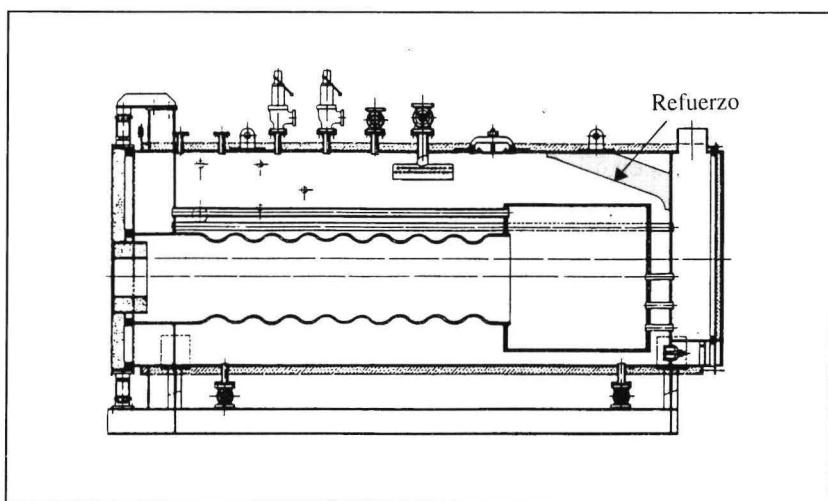


Figura 11

El empleo de “tubos tirantes” es preferible a las varillas macizas en tanto que no van a interferir el acceso a la caldera durante operaciones de inspección, mantenimiento y limpieza, si bien la elección de uno u otro viene condicionado por factores tales como la situación de la última línea de tubos de humo, el diámetro de la caldera, etc.

Particular importancia presenta la unión de los tubos de humos a las placas tubulares, unión que se puede efectuar de las siguientes formas:

- Si todos los tubos de humos son del tipo “tubos tirantes”, la unión se efectúa mediante expansionado fuerte y cordón de soldadura de sellado o estanqueidad.
- Si solamente parte de los tubos de humos son “tubos tirantes”, la unión se efectúa con soldadura de penetración y expansionado fuerte para los “tubos tirantes”, y expansionado fuerte o soldado previo acople del tubo a la pared de la placa, para los tubos pasantes.
- En ausencia de “tubos tirantes”, cada uno de los tubos del haz se fijará a la placa mediante mandrilado y soldadura, mandrilado y rebordeado o sólo soldadura, en cuyo caso la parte soldada de los tubos mantendrá un contacto total con la parte correspondiente del agujero de la chapa.

Los extremos de los tubos de humos deben estar rebordeados, en previsión de que puedan quemarse bajo la acción de los gases calientes, así como para incrementar la transferencia de calor en la zona de la placa tubular, en su unión con el tubo.

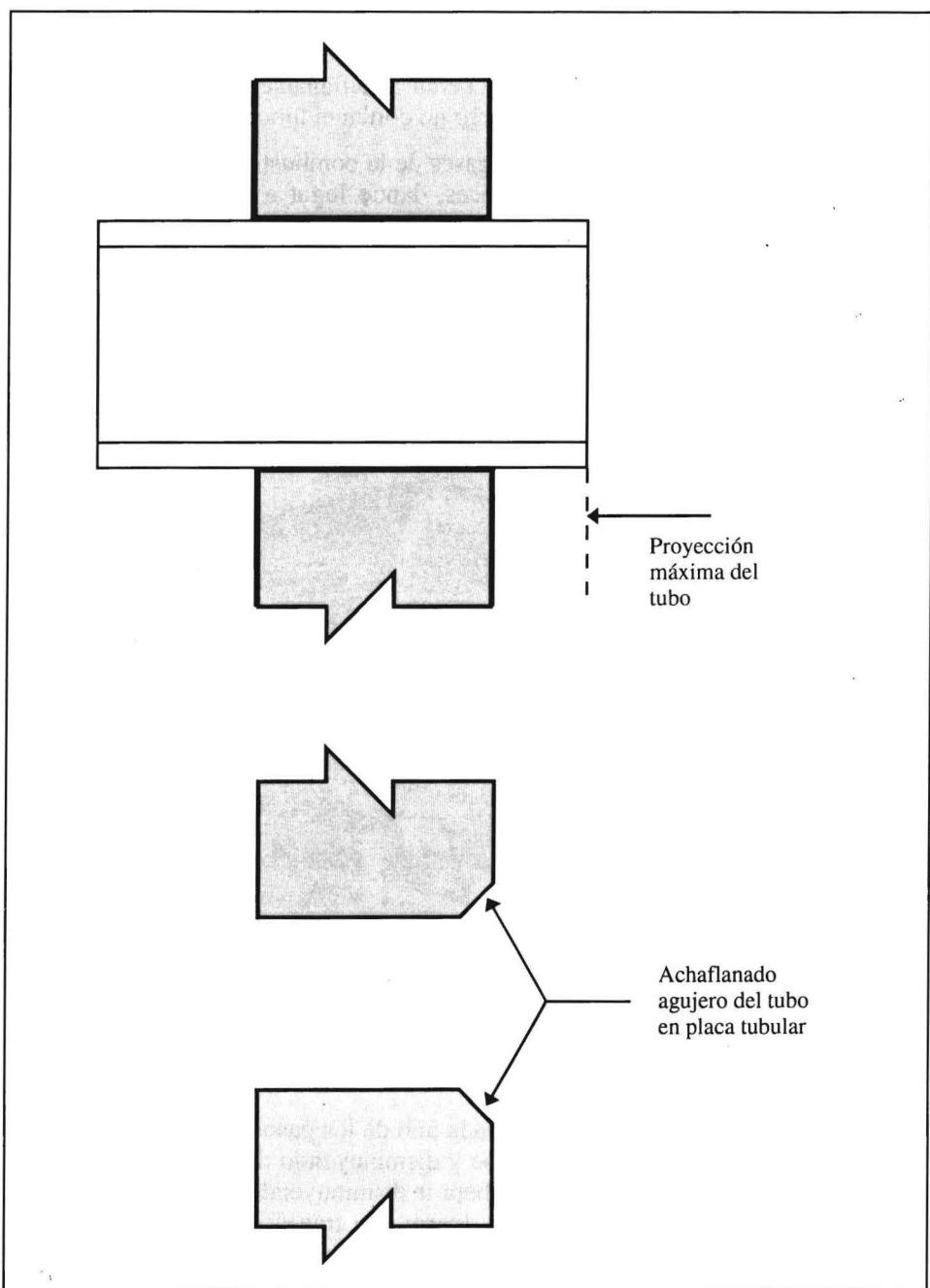


Figura 12

Otras consideraciones a tener en cuenta son que la longitud del tubo que sobresale de la placa esté limitada, Figura 12, y que los agujeros practicados en la placa tubular para insertar los tubos deberán achaflanarse, al objeto de que las rebabas resultantes del taladro del agujero no corten el tubo al expandirse.

Según sea el diseño de la caldera, los gases de la combustión atravesarán el haz tubular un número determinado de veces, dando lugar a calderas con distinto número de pasos, lo que técnicamente se efectúa haciendo pasar los gases por un determinado porcentaje de tubos del haz tubular, en cada uno de los pasos. En la Figura 13 se muestra una caldera de cuatro pasos.

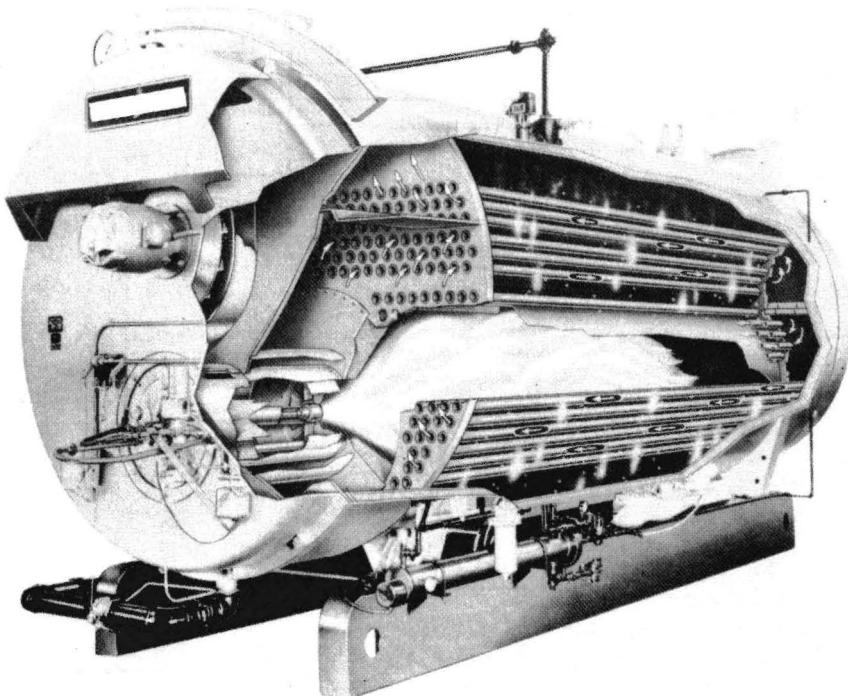


Figura 13

Dado que al ir atravesando los gases cada uno de los pasos, aquellos van transfiriendo calor, y por lo tanto enfriándose y disminuyendo de volumen, el número de tubos que componen cada paso deberá ir disminuyendo, Figura 14, al objeto de mantenerlos a elevada velocidad y lograr una transferencia de calor lo más estable posible, siendo también usual disponer espirales en el interior y a lo largo de los tubos, para aumentar la turbulencia de los gases y con ello mejorar la transmisión.

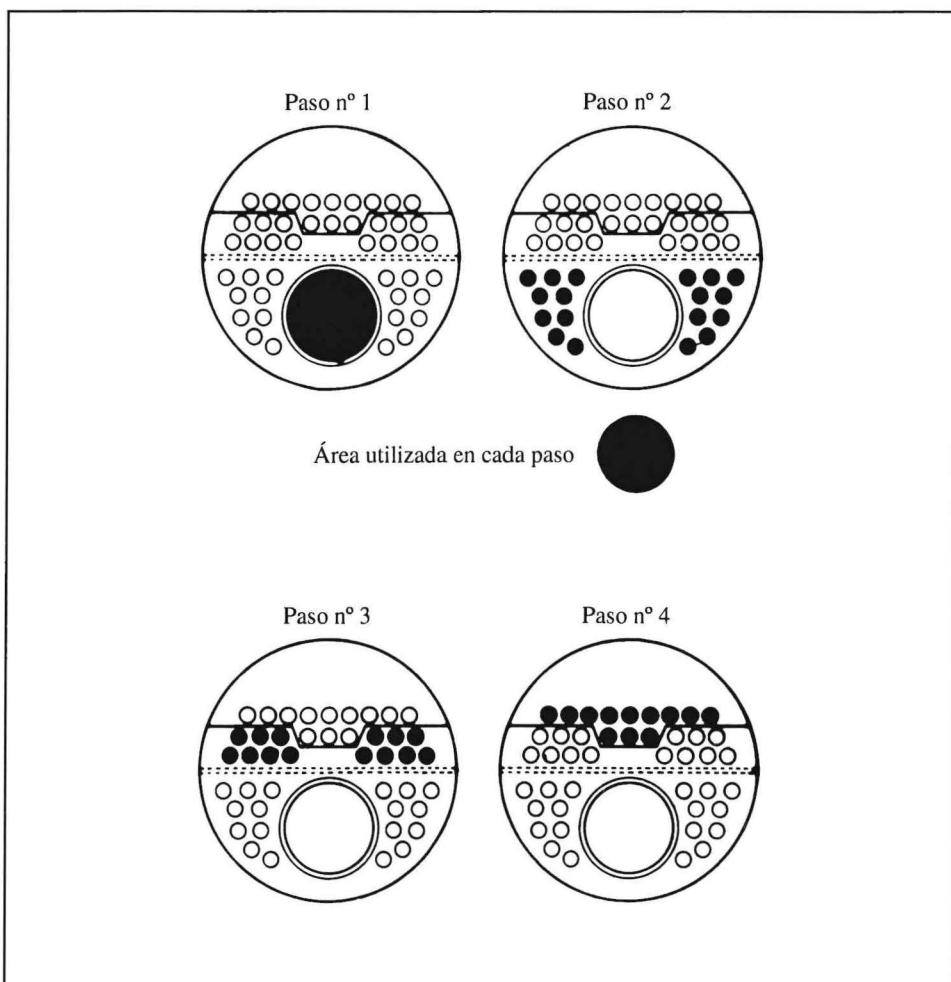


Figura 14

#### 4. CAJAS DE HUMOS

Cuando una caldera pirotubular dispone de más de un paso por el haz tubular, es necesario que, al final de cada paso, los gases sean recolectados y reconducidos al paso siguiente, operación que se realiza en las denominadas Cajas de Humos.

Estas cajas pueden ser interiores o exteriores a la caldera, considerándose en el primero de los casos como formando parte de la superficie de calefacción de la caldera (Figura 15).

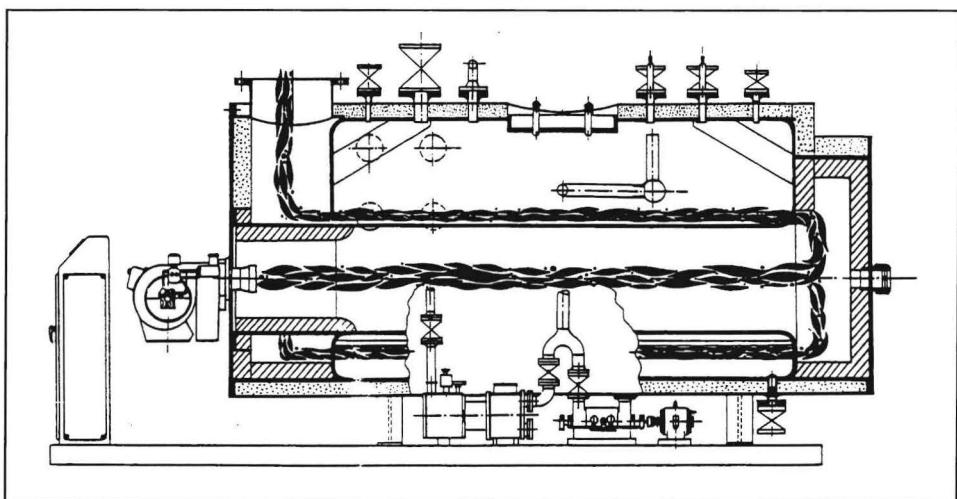


Figura 15

## VII

### CALDERAS PIROTUBULARES VERTICALES

Son una variación de la caldera pirotubular horizontal, que han sido empleadas cuando la disponibilidad del espacio es limitada y sólo se requieren capacidades pequeñas de vapor, a presión moderada (Figura 16).

Existen dos clases de estas calderas: las de cabeza húmeda y las de cabeza seca.

La diferencia entre estos dos tipos radica en que, en las de cabeza húmeda o sumergida, la placa de tubular superior está bañada por el agua de la caldera, lo que permite una mejor refrigeración de la misma, tanto si la caldera es forzada como en la puesta en marcha.

Estas calderas presentan la desventaja, con respecto a las horizontales, de que su interior no es fácilmente accesible para inspección y limpieza; por otra parte, dado que su capacidad de agua es pequeña, es difícil el mantener una presión de vapor uniforme ante variaciones de la carga de la caldera.

Así mismo, en calderas pequeñas, el rendimiento térmico es muy bajo debido al corto recorrido de los gases, que salen a la atmósfera a temperatura elevada.

Como ventajas, cabe citar el poco espacio requerido para su implantación y el ser de fácil y simple utilización.

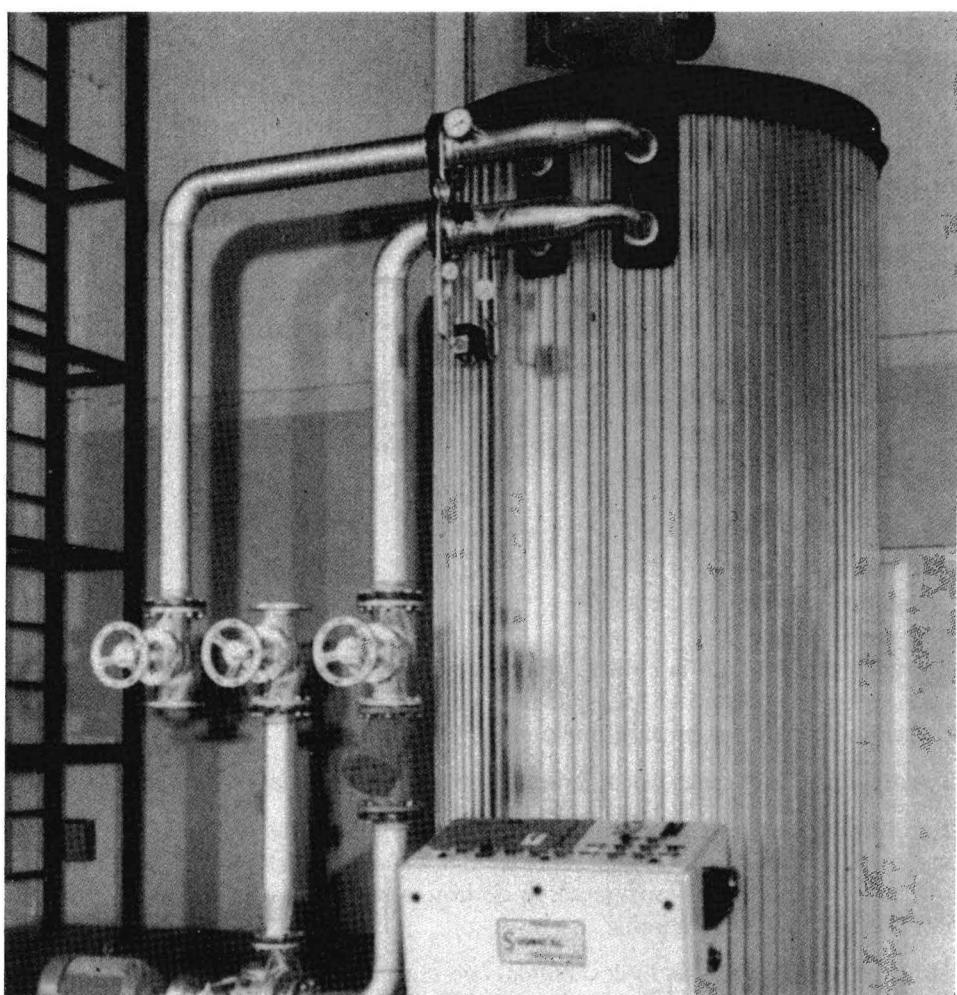


Figura 16

## VIII

### CALDERAS ACUOTUBULARES

En las calderas acuotubulares toda la superficie de intercambio está constituida por tubos, por cuyo interior circula el fluido caloríportante y que conforman un circuito cerrado a través del calderín o calderines, y cuya configuración y distribución determinan las distintas zonas de la caldera.

En la Figura 17 se muestra una moderna caldera acuotubular y en la Figura 18, un esquema de lo que puede ser una de estas calderas.

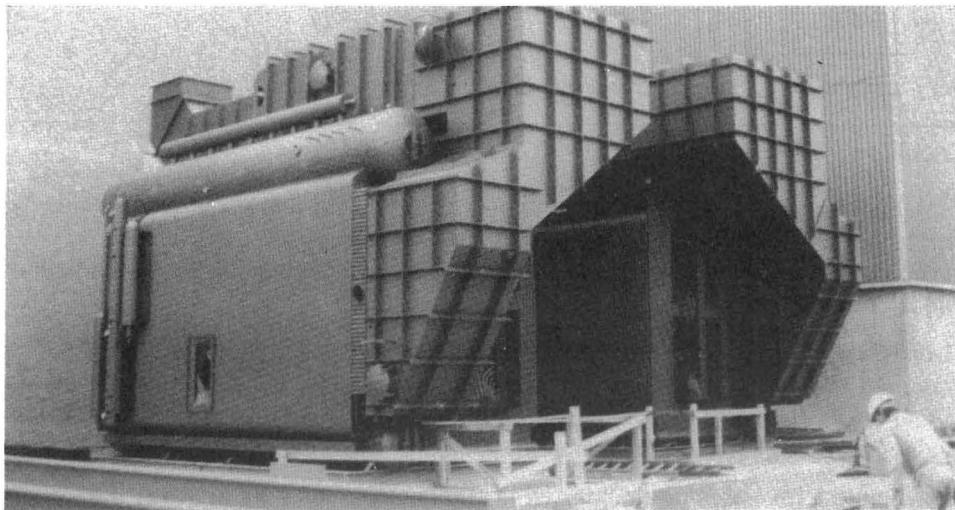


Figura 17

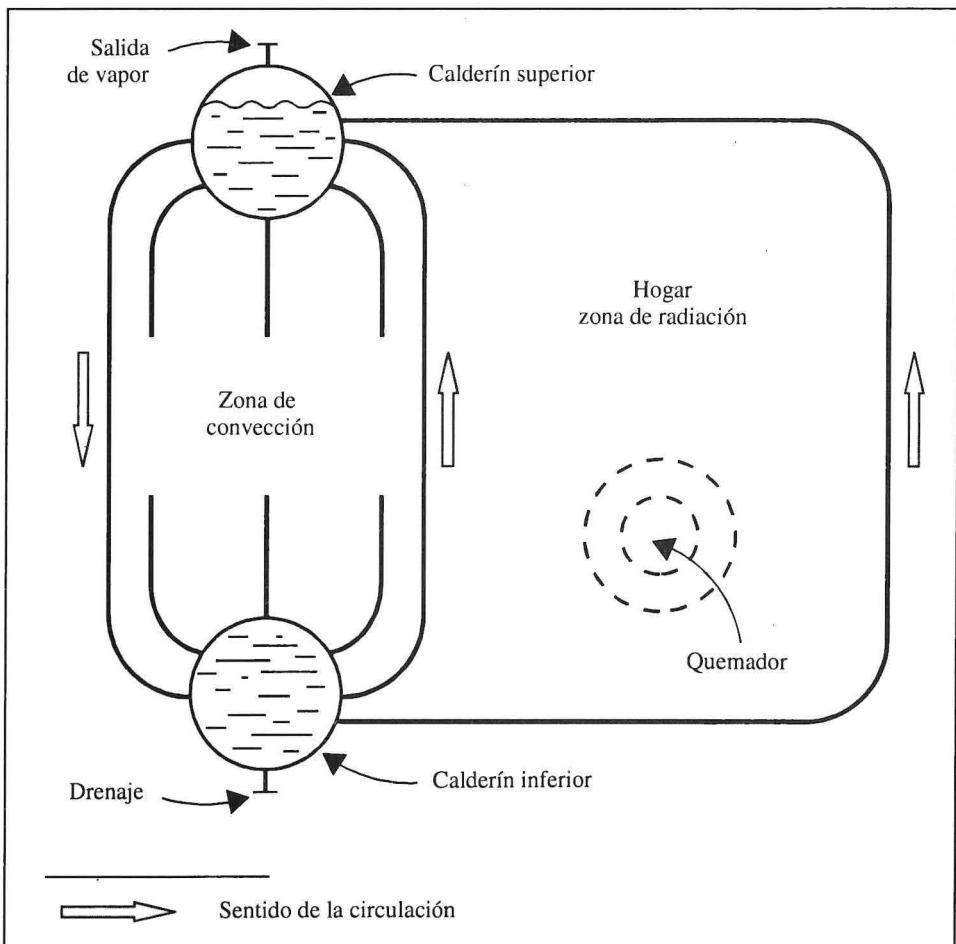


Figura 18

Teniendo en cuenta el anterior esquema, se diferencia una zona denominada de radiación en la cual está situado el quemador o quemadores, y una zona de convección, sin contacto directo con la llama, y atravesada por los gases resultantes de la combustión.

Los tubos situados en la zona de radiación se calientan rápidamente, produciéndose en su interior burbujas de vapor que, debido al efecto de termosifón, da lugar a la creación de una circulación natural en el circuito, si bien en muchas calderas esta circulación es favorecida mediante el empleo de bombas.

En cuanto a los gases producidos en la combustión, son guiados en el interior de la caldera, hasta su salida al exterior por la chimenea.

## 1. HOGAR

Es el espacio de la caldera en el que se realiza la combustión del combustible utilizado por la misma, y que constituye la denominada zona de radiación, al ser éste el mecanismo de transmisión de calor que tiene lugar en la misma, por efecto de la llama.

Las paredes que delimitan el hogar pueden ser de material refractario, calderas de hogar caliente, de tubos de agua, calderas de hogar frío, o bien una combinación de los mismos.

En la Figura 19 se muestra una caldera acuotubular en la que el hogar está delimitado por bancos de tubos que se extienden a lo largo del techo, la pared derecha y suelo; en este último caso, recubiertos de material refractario. La pared posterior está, así mismo, constituida por tubos, mientras que la pared frontal está formada por material refractario, alojándose en ella el quemador de la caldera.

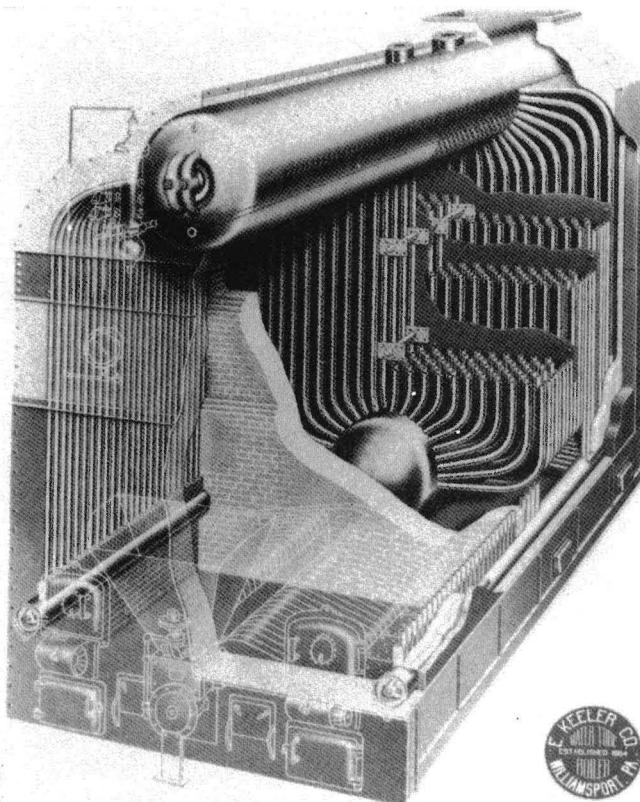


Figura 19

La pared izquierda, que separa el hogar del resto de la caldera, está formada por tubos tangentes entre sí, excepto en el último tramo, para permitir el paso de los gases a las otras zonas de la caldera.

Todos los tubos que conforman esta zona de radiación están unidos entre sí mediante dos calderines.

## 2. HAZ DE CONVECCIÓN

Este haz, también denominado haz vaporizador, está constituido por los tubos de la caldera que están situados fuera de la zona de radiación de la misma, y a su vez unidos a los calderines (Figura 20).

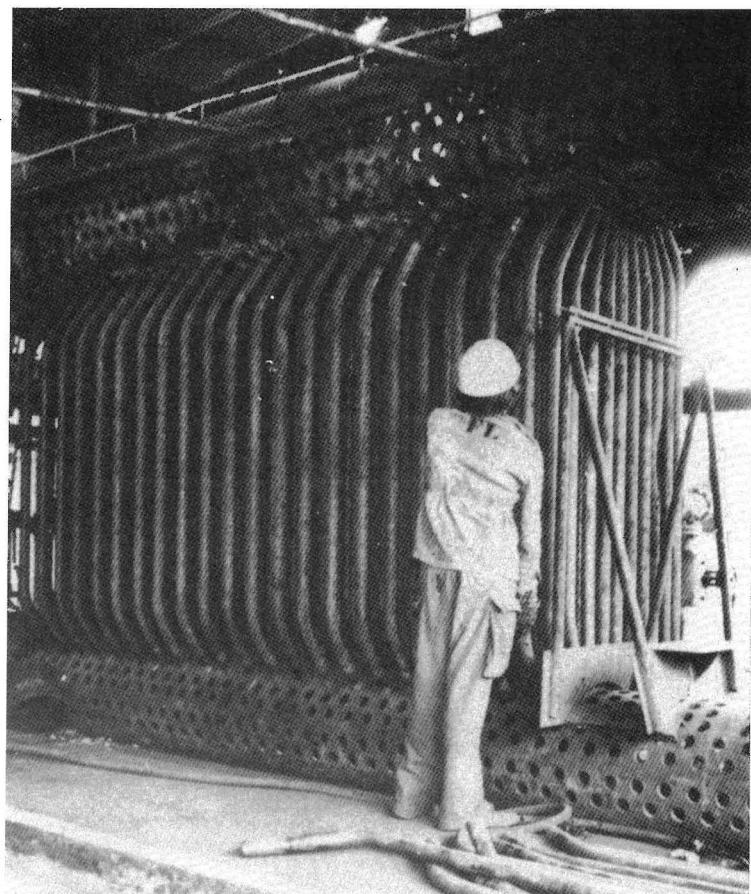


Figura 20

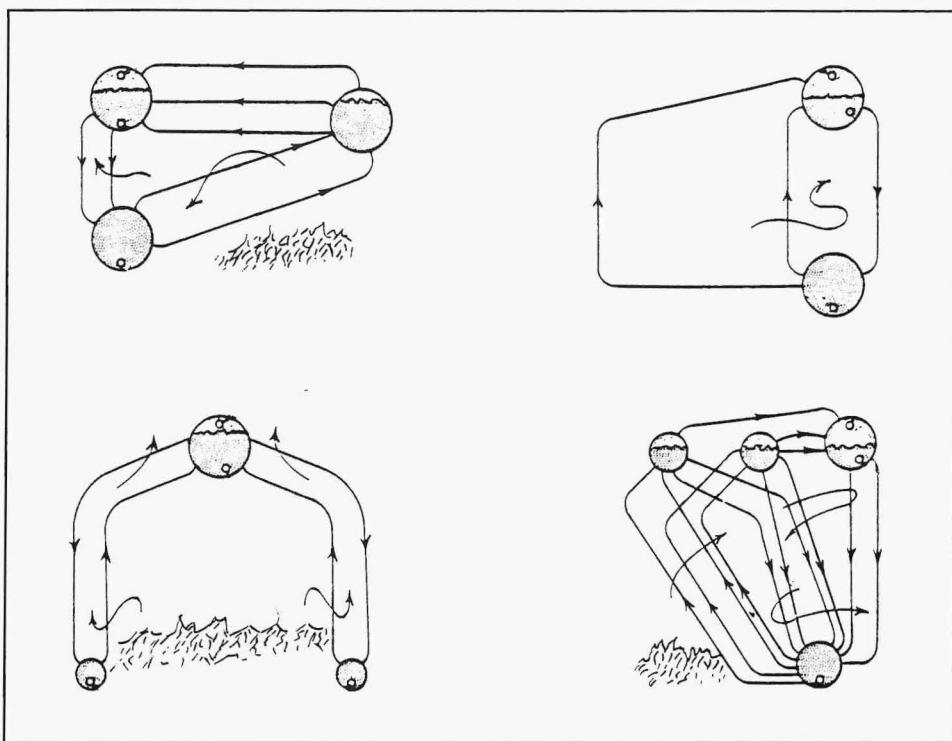


Figura 21

Su forma y distribución varía en función del número de calderines, de la disposición geométrica de éstos, Figura 21, así como de la incorporación a la caldera de elementos tales como sobrecalentador, recalentadores y economizador.

En este haz, parte de los tubos son ascensionales, es decir, por ellos sube la mezcla de agua y vapor hacia el calderín superior, y parte son descensionales o de bajada de agua; el número de unos y otros dependerá de la temperatura a que están sometidos los tubos, debiéndose tener en cuenta que en el funcionamiento de la caldera, si se aumenta el régimen de combustión, aumentará el número de tubos ascensionales con la consiguiente disminución de los descensionales, lo que puede provocar la congestión de la caldera y producirse daños en los tubos, si el régimen es inadecuado.

### 3. CALDERINES

También llamados tambores o domos, son los elementos a los que se unen los tubos que conforman la caldera, cerrando con ello el circuito de circulación de la misma. Figuras 22 y 23.



Figura 22

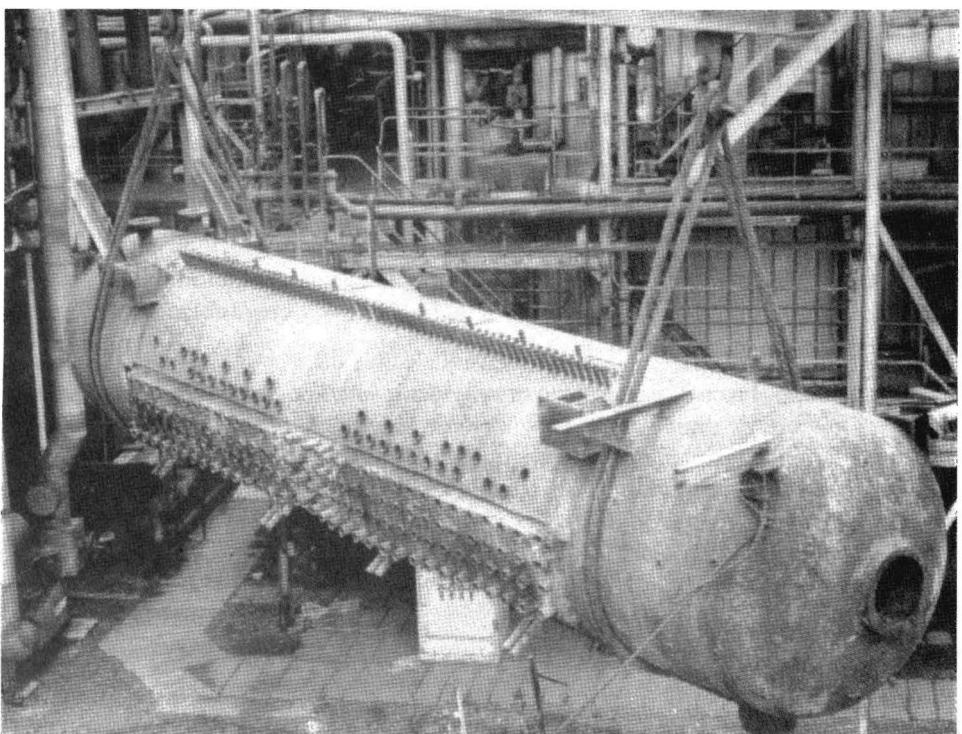


Figura 23

Su número es variable, sólo calderas antiguas o de circulación forzada incorporan uno solo, siendo corriente el que dispongan de dos calderines, uno, superior y otro inferior (Figura 24) .

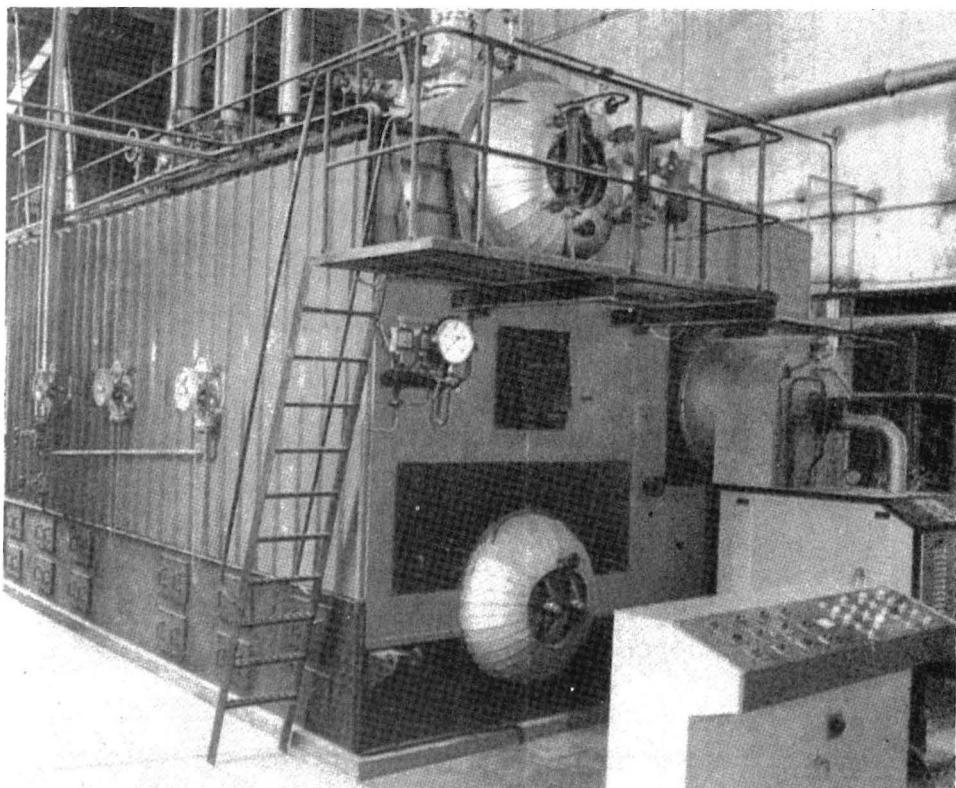


Figura 24

Su misión genérica es el almacenar vapor y agua, pero dependiendo de cuál sea su posición en la caldera tendrá encomendadas otras misiones, tal como se indica a continuación:

- Calderín superior, también llamado caldeíín de vapor: recibe la corriente ascensional de agua y vapor y en su interior lleva incorporados una serie de elementos como separadores, secadores y diafragmas (Figura 25),

cuya misión es el separar el agua arrastrada por el vapor, asegurando el suministro de vapor seco al proceso de utilización del mismo o al sobrecalentador. Con ello también se asegura un agua exenta de vapor en los tubos de bajada, lo que redundá en una buena circulación en los circuitos.

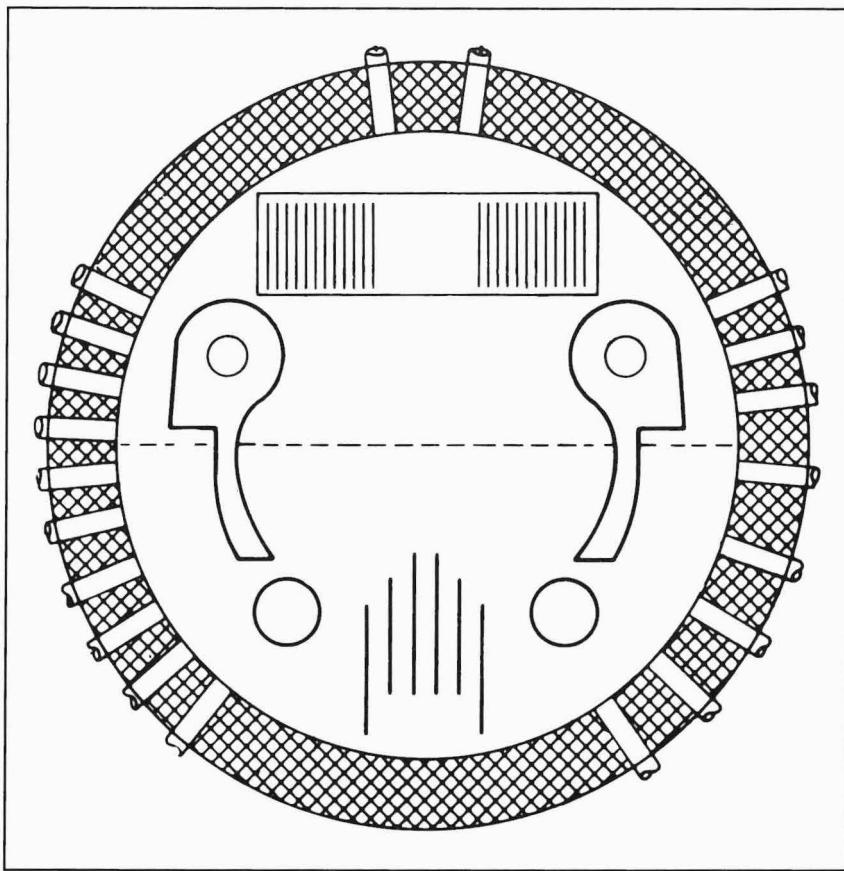


Figura 25

Además de dichos elementos, incorpora las tuberías de agua de alimentación, la tubería de inyección de aditivos químicos para mantener las características del agua( alcalinidad, oxígeno disuelto, etc.), dentro de los límites requeridos en la caldera, así como la tubería de purga, para poder mantener el control de los sólidos disueltos y en suspensión del agua de la caldera.

Así mismo, en dicho calderín se incorporan los embranques correspondientes a las conexiones de las válvulas de seguridad, venteo, niveles ópticos, interruptores de nivel, toma de presión, etc.

- Calderín inferior o calderín de agua: dispone de un embranque para conectar la tubería de extracción de lodos y vaciado de la caldera.

La conexión de tubos a dichos calderines se efectúa mediante mandrilado, soldadura o una combinación de ambos.

#### 4. SOBRECALENTADOR

Es un elemento de la caldera con la misión de elevar la temperatura del vapor saturado y seco, correspondiente a la presión de trabajo de la caldera, hasta la temperatura requerida en el vapor para el proceso.

Estos elementos se pueden clasificar en dos grandes grupos, sobrecalentadores de radiación y sobrecalentadores de convección, según sea el mecanismo de transmisión de calor al vapor saturado y seco; en el primero de los casos, están constituidos por bancos de tubos dispuestos en la zona de radiación de la caldera, mientras que en el segundo, lo conforman tubos en forma de serpentín, situados perpendicular o paralelamente al flujo de gases de combustión, en la zona de convección de la caldera (Figura 26).

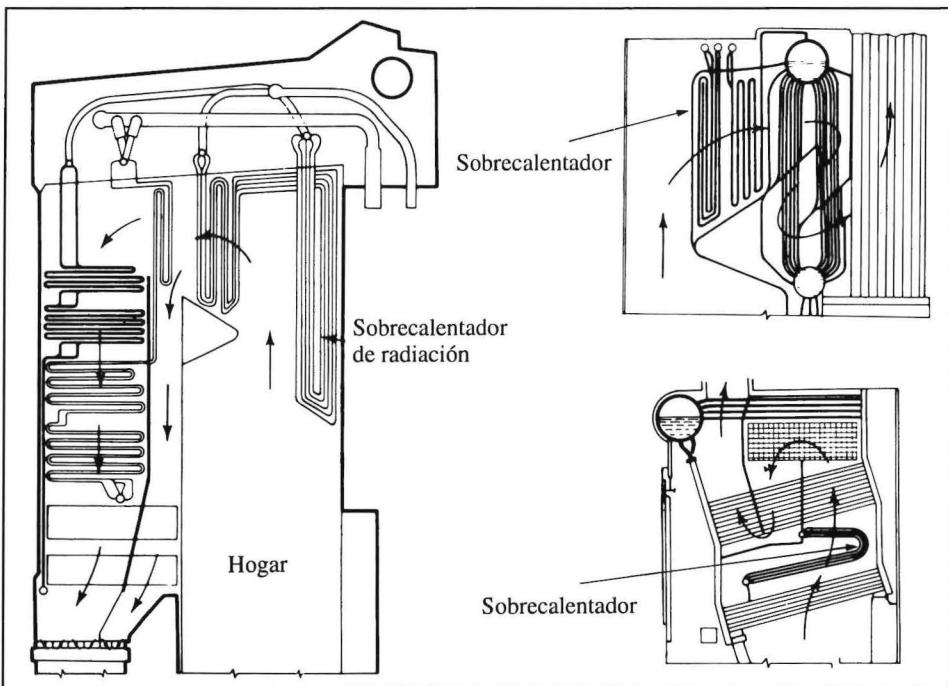


Figura 26

Dado que la temperatura del vapor sobrecalentado puede oscilar al incrementar o disminuir la combustión y según sea el tipo utilizado, se suele recurrir a una combinación de ambos, en ciertas instalaciones en las que se puede producir una variación de la carga de la caldera y a su vez se necesita un vapor sobrecalentado con temperatura estable.

## 5. ECONOMIZADOR

Se puede considerar como una sección independiente de la superficie de intercambio de calor, que tiene como finalidad el recuperar parte del calor que contienen los gases de combustión a la salida de la caldera, para devolverlo en forma de calor útil al agua de alimentación, antes de que se mezcle con el agua que está circulando ya en el interior de la caldera. Este calor recuperado, y que se añade al sistema, mejora el rendimiento global de la caldera, lo que justifica su instalación.

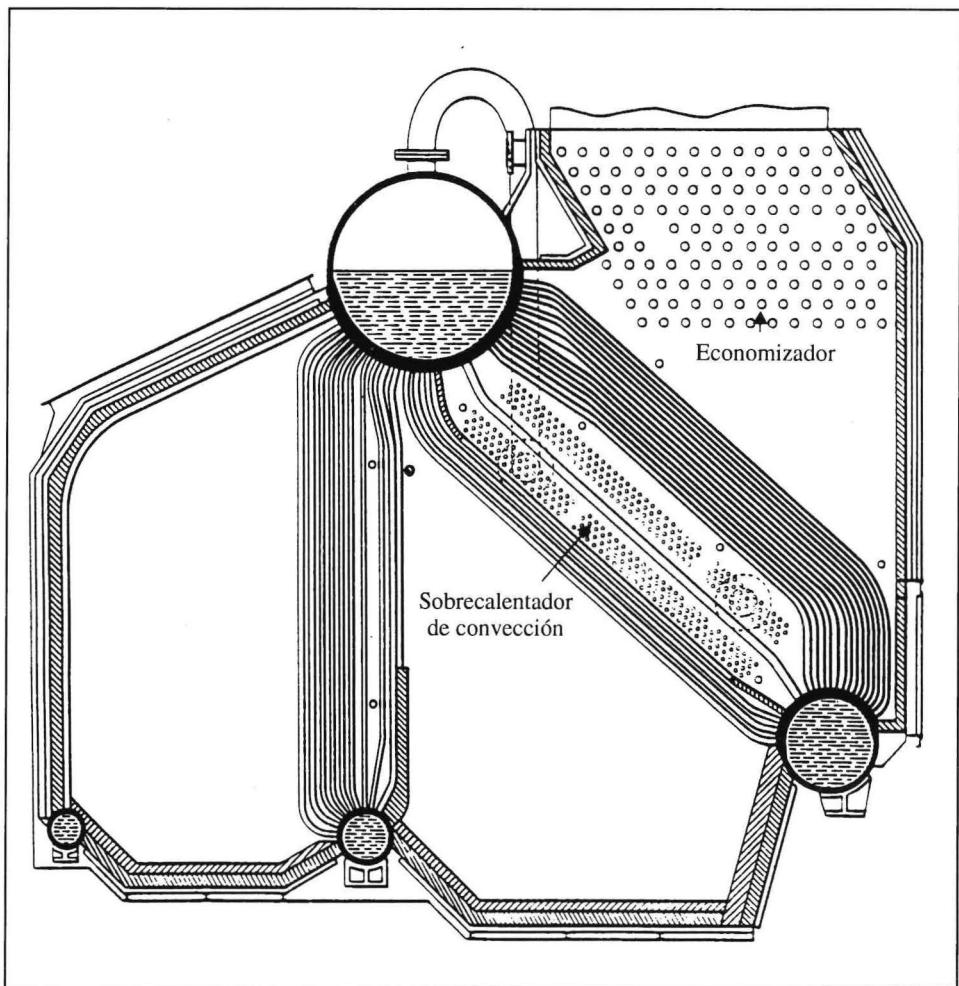


Figura 27

Teóricamente, aumentando de forma adecuada la superficie de intercambio, se podría lograr que los gases abandonasen la caldera, a una temperatura próxima a la del ambiente; ahora bien, teniendo en cuenta que en los productos de combustión puede haber azufre, procedente del combustible empleado, si disminuye la temperatura hasta el punto de rocío, se producirá la condensación que, en presencia de humedad, formaría ácidos extraordinariamente corrosivos que atacarían rápidamente a las superficies metálicas situadas entre el economizador y la chimenea, razón por la cual la temperatura debe limitarse.

El economizador está constituido por tubos en forma de serpentín, que pueden ser de acero, de hierro fundido con aletas, e incluso tubos de acero encamisados con tubos de hierro fundido aleteados. En todo caso se debe de asegurar una circulación continua de agua para eliminar el choque térmico que se produciría si la alimentación fuese discontinua.

En la Figura 27 se muestra un economizador integrado en la caldera, si bien puede formar una unidad independiente, adyacente a la misma.

## 6. PRECALENTADOR DE AIRE

Son elementos que, como su nombre indica, precalientan el aire necesario para la combustión del combustible en la caldera, recuperando el calor de los gases de escape, aunque ocasionalmente pueden utilizar otras fuentes de calefacción.

Constituyen el último paso en el aprovechamiento del calor contenido en los gases de combustión y en ellos se debe tener en cuenta lo anteriormente indicado para los sobrecalentadores, referente a la temperatura final de los gases de escape, ya que la presencia de azufre o dióxido de carbono puede dar lugar a la aparición de ácidos.

Dos son los tipos de precalentadores utilizados:

- Prekalentadores recuperativos: en los que el aire a calentar se hace circular en contracorriente con los gases de la caldera, interponiendo entre ambos una superficie de intercambio.
- Prekalentadores regenerativos: son medios de calefacción indirecta en los cuales una estructura que sirve de cuerpo intermedio de almacenamiento de calor es calentado por los gases residuales de la combustión para, después, conmutando el paso de dichos gases con el aire a calentar, transferir el calor a este último.

En la Figura 28 se indica uno de estos prekalentadores, constituido por un cilindro dividido en cuatro sectores, dos de ellos ciegos, que gira a una velocidad de 2 ó 3 rpm. y en cuyo interior se han dispuesto unos materiales corrugados que constituyen la superficie de almacenamiento de calor.

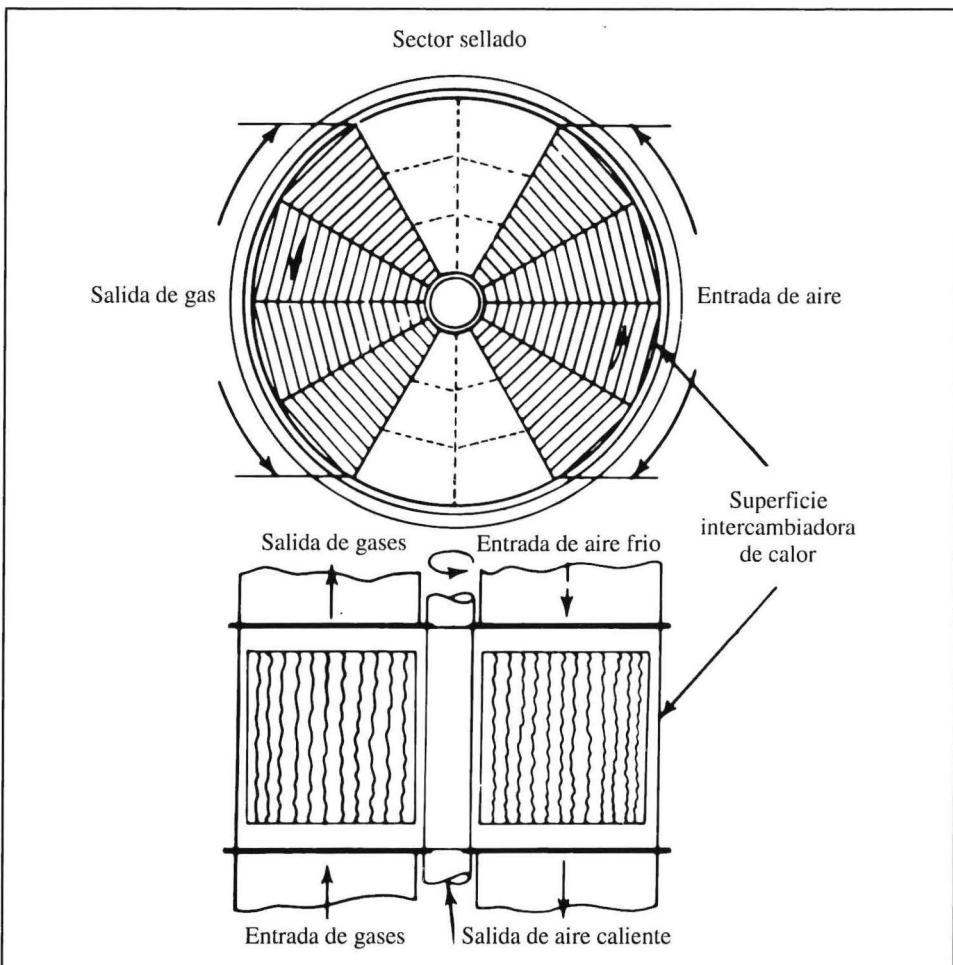


Figura 28

## 7. RECALENTADOR DE VAPOR

En muchas aplicaciones de vapor, por ejemplo en turbinas, el vapor procedente de la caldera es expansionado en ellas disminuyendo así la presión y la temperatura, lo que hace que pronto se alcance la temperatura de saturación y dé lugar a la condensación del vapor. Para evitarlo, el vapor, una vez parcialmente expandido, por ejemplo en las turbinas de alta presión, es conducido a un recalentador en el que se vuelve a calentar y de donde pasa a las etapas finales de utilización, como pueden ser las turbinas de media y baja presión.

Un recalentador es un elemento que se dispone en una caldera y que tiene funciones similares a las del sobrecalentador, con la diferencia de que, mientras que en este último la alimentación proviene de la caldera, en el recalentador es un vapor parcialmente utilizado tras su salida de la misma.

El vapor procedente del recalentador puede tener una temperatura no muy diferente a la del vapor que sale del sobrecalentador, sin embargo su presión es mucho más baja.

Al igual que los sobrecalentadores, pueden ser de convección, radiación, o combinación de ambos, según sea su situación en la caldera.



# **CAUSAS DE ACCIDENTES Y AVERÍAS EN CALDERAS**



## **IX**

### **INTRODUCCIÓN**

La generación de vapor de agua y/o calentamiento de un fluido, para aprovechar posteriormente la energía contenida en él, en forma de calorías, presenta, además de los riesgos debidos a las condiciones del fluido, como son la presión y la temperatura, las inherentes a los equipos utilizados en el cometido, los cuales pueden explotar u ocasionar fugas, con el consiguiente riesgo para personas y bienes que se encuentren en su proximidad.

Todo ello hace necesario un control adecuado de las instalaciones, que se inicia en el propio diseño y construcción de las mismas, que se mantiene a lo largo de su vida útil con una conducción y un mantenimiento adecuados, simultaneando con una adecuada formación del personal encargado de su manejo, y que finaliza con la realización en tiempo de las inspecciones y pruebas periódicas requeridas en cada uno de los equipos.



# X

## **PRINCIPALES CAUSAS DE ACCIDENTES Y AVERÍAS EN CALDERAS**

Son muy numerosas las causas atribuibles a los accidentes y averías que se pueden producir en calderas, y que de una forma genérica se pueden resumir en las siguientes:

- Corrosión de tubos, lo que se traduce en una disminución de su espesor y por lo tanto de sus características resistentes.
- Erosión de tubos, con efectos similares a la corrosión.
- Fallos por plasticidad de materiales y consiguiente pérdida de las características mecánicas.
- Fisuras en calderines y placas tubulares, debidas a las uniones soldadas de los tubos.
- Colapso de hogares, debido a una excesiva vaporización en la cámara de agua de calderas pirotubulares, disminución del nivel de agua o defectuosa circulación.
- Regulación defectuosa de la llama con el consiguiente calentamiento local de zonas metálicas y disminución de sus características mecánicas.
- Acumulación de gases combustibles en el hogar con deflagración accidental.
- Dispositivos de seguridad defectuosos, como pueden ser válvulas de seguridad, presostatos, termostatos, indicadores de nivel, seguridad por falta de llama o tensión eléctrica, etc.

- Mala calidad del agua de alimentación, lo que se traduce en depósitos calcáreos que rodean a los tubos o se pegan en las placas tubulares en el lado agua, que significan una transmisión de calor defectuosa con sobrecalentamiento de materiales, que a su vez es causa de plasticidad, fisuras, etc.
- Puenteo de elementos de seguridad por falta de formación del personal.
- Mal mantenimiento de los aparatos.
- Sobrecargas de los aparatos, no respetando las instrucciones de los fabricantes.

Se ha establecido así una primera toma de contacto sobre las causas que pueden afectar al funcionamiento de una caldera, describiéndose en los siguientes capítulos una exposición más amplia y diferenciada según sea el tipo de caldera considerada.

# **RIESGOS DE ACCIDENTES Y AVERÍAS EN CALDERAS PIROTUBULARES**



# **XI**

## **INTRODUCCIÓN**

Entre los riesgos más frecuentes en este tipo de caldera, hay que indicar:

- Fisuración de tubos de humos y de la placa tubular.
- Fisuras y roturas en elementos de refuerzo.
- Corrosión en lado agua.
- Deformación del hogar.
- Fisuras en el hogar.
- Escapes en las uniones de los tubos con la placa tubular.
- Corrosión en el lado fuego.
- Otras causas.

Estos riesgos son tratados individualmente a continuación.



## XII

### **RIESGO DE FISURACIÓN DE TUBOS DE HUMOS Y DE LA PLACA TUBULAR**

Son varias las causas que dan origen a dicha fisuración:

- Sobrecalentamientos locales debidos a sobrecarga de la caldera, que pueden tener su origen en:
  - Una capacidad de la caldera inferior a las necesidades requeridas, lo que puede ocasionar una continua sobrecarga.
  - Modificación del tipo de combustible empleado en la caldera, por ejemplo paso de fuel-oil a gas, con la consiguiente diferencia en el aporte térmico.
- Choques térmicos, que pueden ser debidos a:
  - Constantes paradas y puestas en marcha del quemador, en el cual, si es del tipo de regulación todo/nada, la aportación calorífica pasa de máxima a nula.
  - Alimentación discontinua del agua de alimentación de la caldera, y a una temperatura inferior a 80° C, y cuya entrada está situada en la parte posterior de la caldera.
  - Longitud de tubo que sobresale de la placa tubular, excesiva (Figura 29), mal contacto de tubo y placa por mandrilado defectuoso, ausencia de soldadura o soldadura insuficiente. Ello se traduce en una mala refrigeración de la extremidad del tubo por el agua de la caldera, que se ve agravado por la presencia de depósitos o incrustaciones.

- Fisuras en las placas tubulares: hay que tener en cuenta que las fisuras que se producen en los extremos de los tubos pueden transmitirse a las placas. Independientemente de ello, pueden aparecer fisuras en la placa a partir de los alvéolos tubulares, debidas a un mandrilado excesivo y a la presencia de incrustaciones.

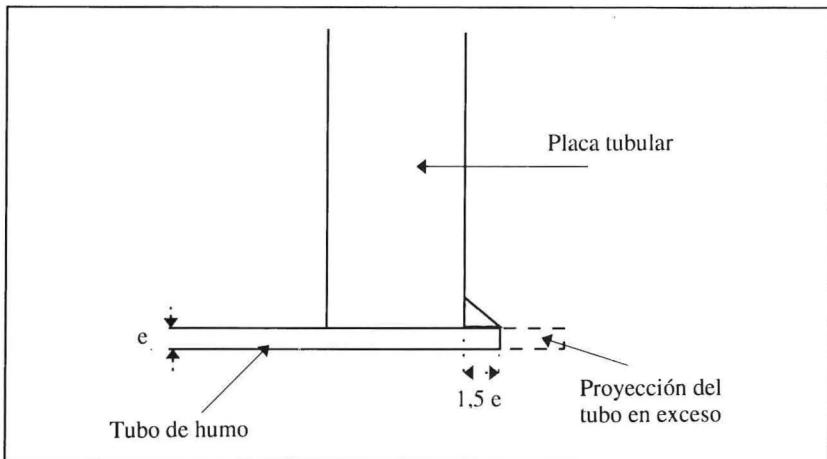


Figura 29

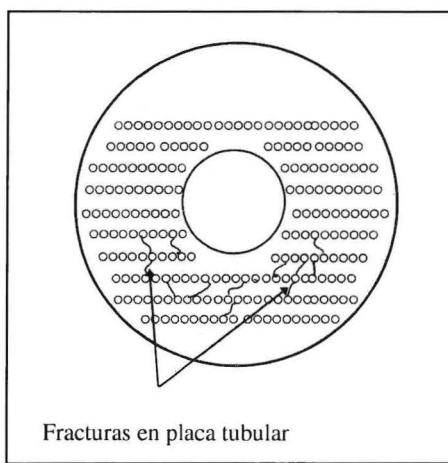


Figura 30

Las fisuras que se forman en la placa tubular se pueden ir encadenando entre sí, de tal forma que, si llegan a constituir un polígono cerrado, será necesaria la sustitución de la placa tubular de la caldera (Figura 30) ante el riesgo de rotura.

### XIII

## RIESGO DE FISURAS Y ROTURAS EN SOLDADURAS DE ELEMENTOS DE REFUERZO

Como se indicó en la descripción de las calderas, algunas de ellas disponen de elementos de refuerzo, soldados entre la placa tubular y la envolvente (Figuras 31 y 32), con objeto de dar una mayor rigidez al conjunto.

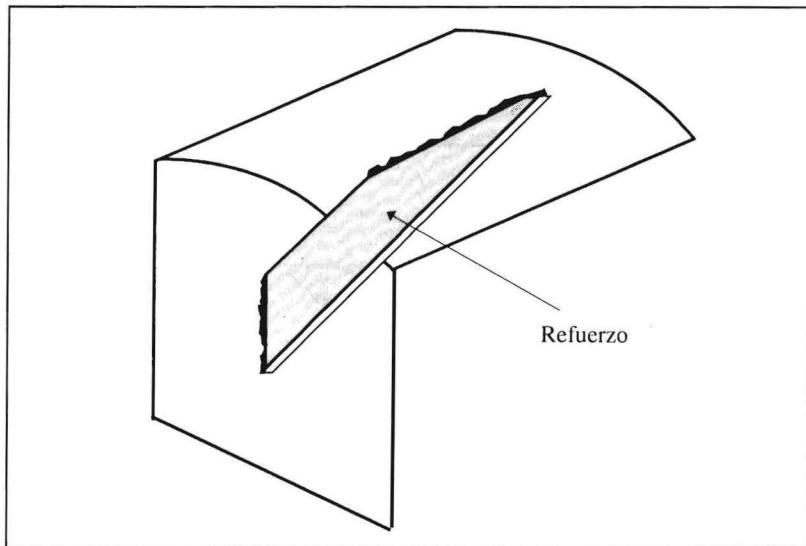


Figura 31

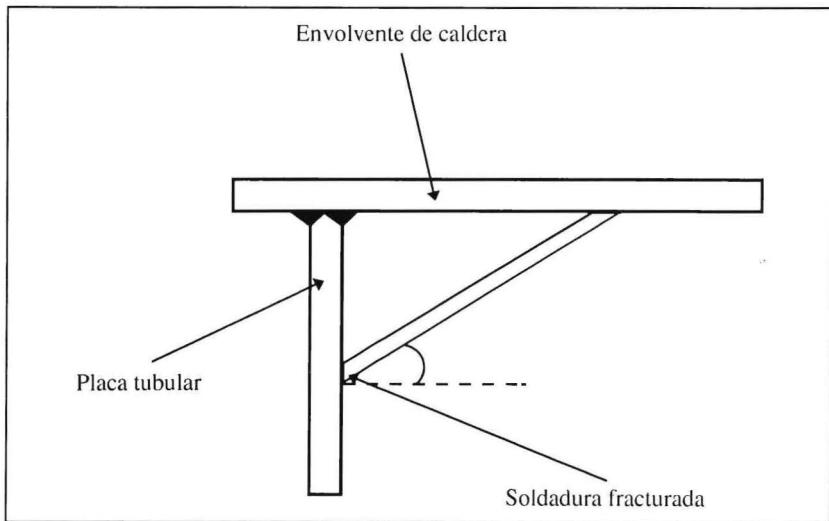


Figura 32

En las soldaduras de dichos refuerzos pueden aparecer fisuras, llegando incluso al desprendimiento, debido fundamentalmente a esfuerzos cílicos en el funcionamiento de la caldera, y que pueden agravarse por desprendimiento laminar del palastro.

Otros factores que vienen a agravar el problema son: soldaduras efectuadas sin penetración total (Figura 33), sobredimensionado de los refuerzos, inclinación del refuerzo, con respecto al eje de la caldera, superior a  $30^{\circ}$ , etc.

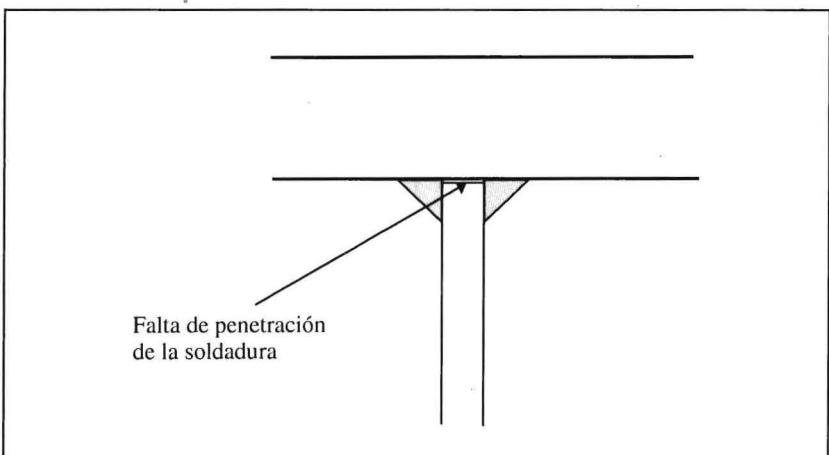


Figura 33

## XIV

### **RIESGO DE CORROSIÓN EN EL AGUA**

La corrosión en sus distintas formas, electrolítica, por oxígeno, por  $\text{CO}_2$ , corrosión por fatiga, corrosión bajo tensiones, etc, tienen especial incidencia en las averías que puede presentar una caldera, y que en general son debidas a una mala calidad y/o un mal tratamiento del agua de alimentación.

En el caso de las calderas pirotubulares hay que resaltar un tipo de corrosión que se presenta frecuentemente en la zona de unión de los tubos con la placa tubular, en el interior de la caldera o lado agua.

Esta corrosión se extiende a lo largo de toda la circunferencia de unión tubo-placa, disminuyendo el espesor y llegando a producir perforaciones.

El origen de tales corrosiones es frecuentemente la corrosión bajo depósitos o entre placa y tubo, favorecidas por la presencia de tensiones residuales, concentración elevada de sosa cáustica en el agua de la caldera, que se acumula como depósito en la unión tubo-placa, o en los intersticios que pueden quedar entre el tubo y la placa, tal como se ve en las Figuras 34 y 35.

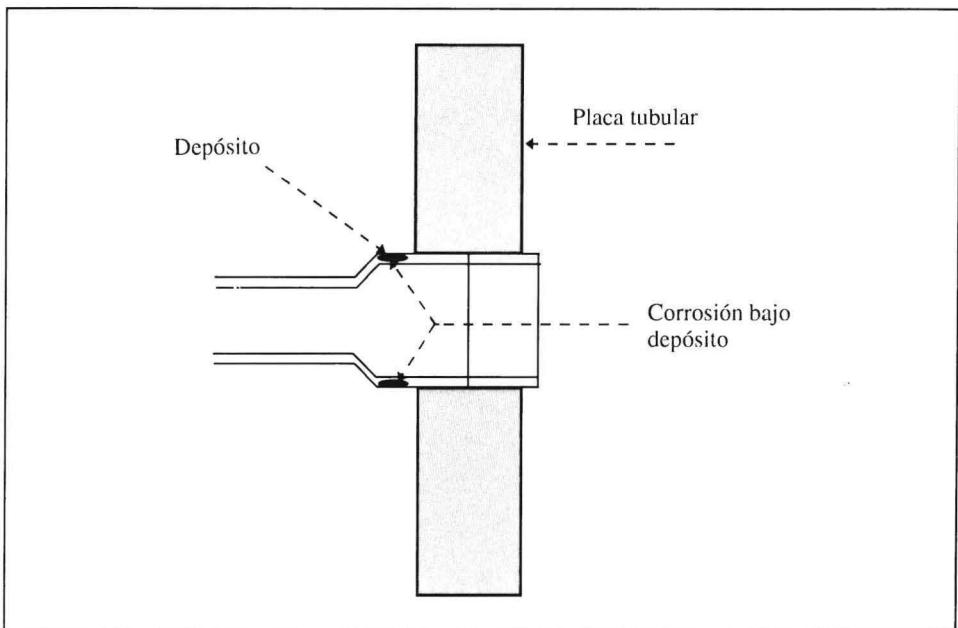


Figura 34

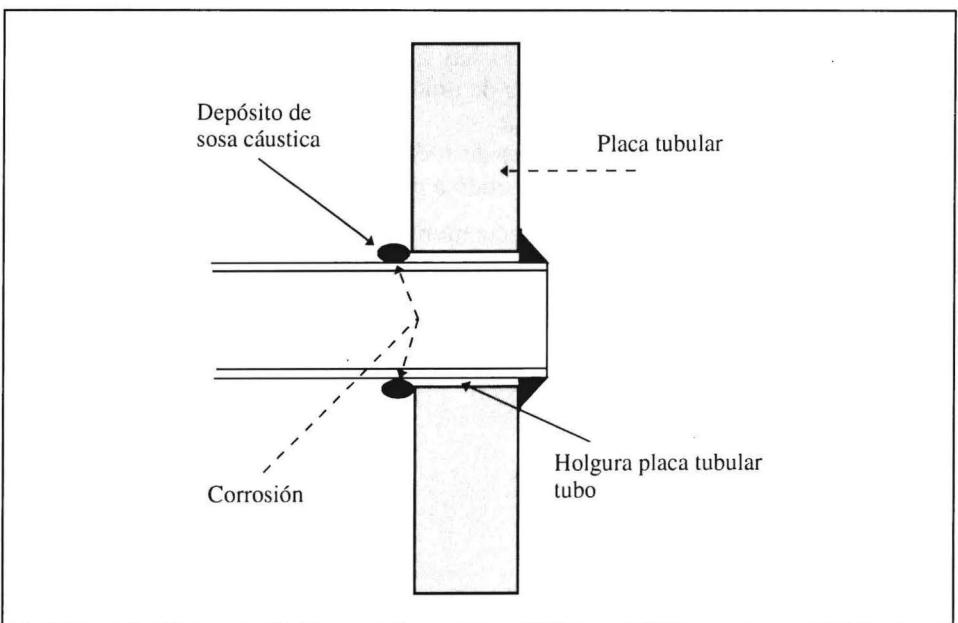


Figura 35

## XV

### **RIESGO DE DEFORMACIÓN DEL HOGAR**

La deformación del hogar de la caldera es debido a la acción combinada de la presión interna y de un calentamiento excesivo, en este ultimo caso, debido a la falta de agua en la caldera, depósitos o incrustaciones en las paredes del hogar, falta de circulación de agua en la caldera y un mal reglado del quemador, circunstancias estas que son tratadas individualmente a continuación.

#### **1. DEFORMACIÓN DEL HOGAR DEBIDO A LA PRESIÓN**

Aunque, como se ha indicado, la deformación del hogar es una combinación de la presión interna y del sobrecaleamiento, se han encontrado casos en que la deformación del hogar, e incluso la ruptura, se ha debido exclusivamente a la presión, teniendo lugar en los laterales del mismo, tal como se indica en la Figura 36.

Se trata en estos casos de hogares lisos, con un gran diámetro de hogar y una longitud del mismo también excesiva, lo que les confiere cierta inestabilidad.

#### **2. FALTA DE AGUA EN LA CALDERA**

La falta de agua en la caldera se traduce en una deformación más o menos importante de la parte más caliente del hogar, situada en la generatriz superior del mismo y en la zona más próxima al quemador, Figura 37, es decir, en el primer cuarto.

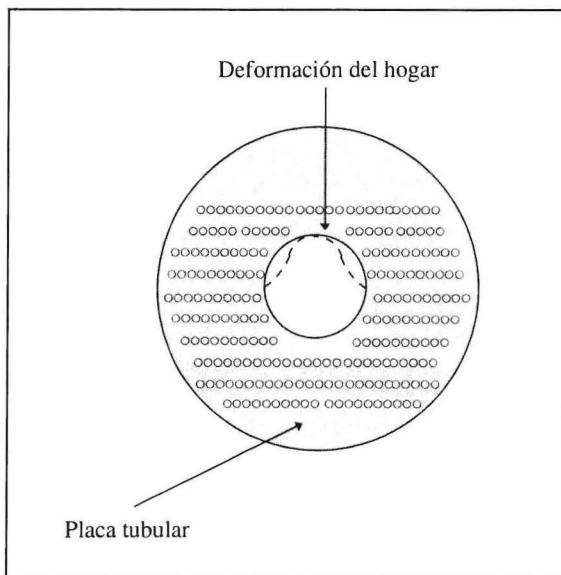


Figura 36

Siendo lo más frecuente el que se deformen los tubos de humos y el que se produzcan fugas de agua en la zona de embranque con la placa tubular.

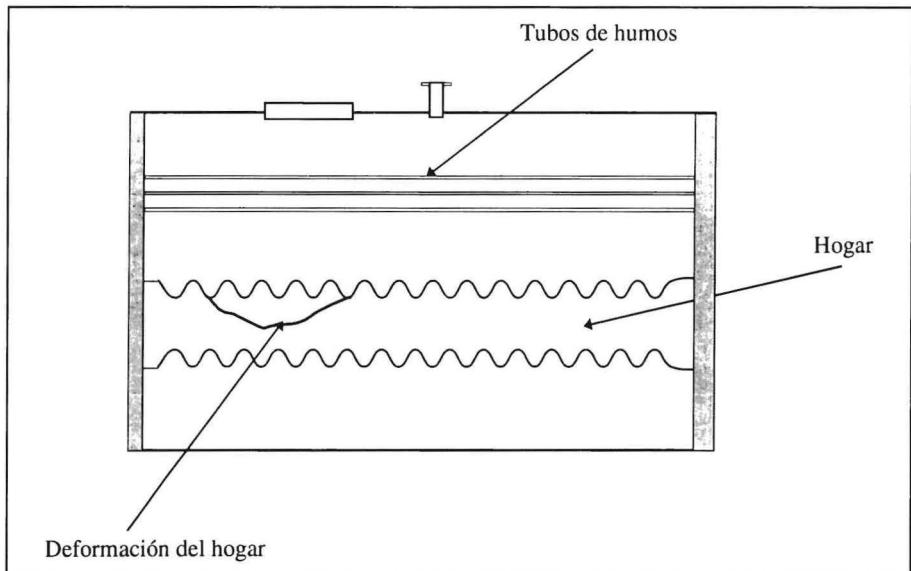


Figura 37

Ahora bien, si el metal que constituye la pared del hogar o alguna soldadura del mismo ha sufrido un proceso de fragilización, el hogar puede entonces romperse, dejando pasar el vapor, y la presión de éste, provocar la explosión de la caldera con resultados catastróficos (Figura 38).

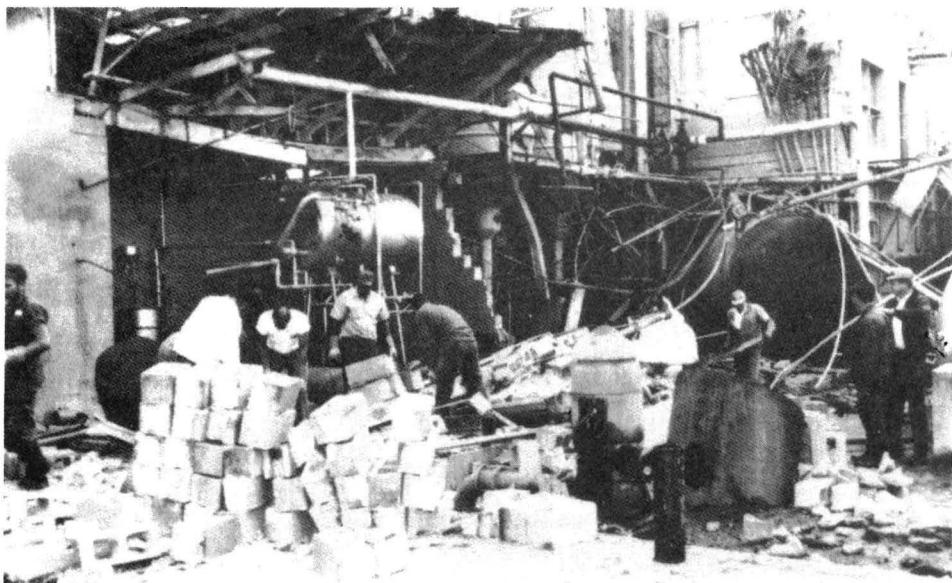


Figura 38

Téngase en cuenta que la energía almacenada en el vapor desprende la puerta trasera de la caldera y/o el quemador, el cual es lanzado como un proyectil, con una gran capacidad destructora, siendo ésta la causa de graves accidentes.

Las causas que originan la falta de agua en la caldera son múltiples, pudiéndose establecer las siguientes, en orden decreciente de importancia:



Figura 39

- Depósitos o incrustaciones en la cámara del flotador del regulador del nivel de agua y las comunicaciones con la caldera; esta situación representa del orden del 75 % de los casos (Figura 39).
- Cierre intempestivo de las válvulas de seccionamiento de los comunicadores con la caldera (Figura 40).
- Depósitos sobre reguladores accionados magnéticamente.
- Fallo de la bomba de alimentación de agua.
- Obstrucción de la tubería de alimentación de agua.
- Fallo de limitadores accionados por electrodos.
- Fallo en los contactos de los reguladores.
- Deformación o ruptura del flotador.

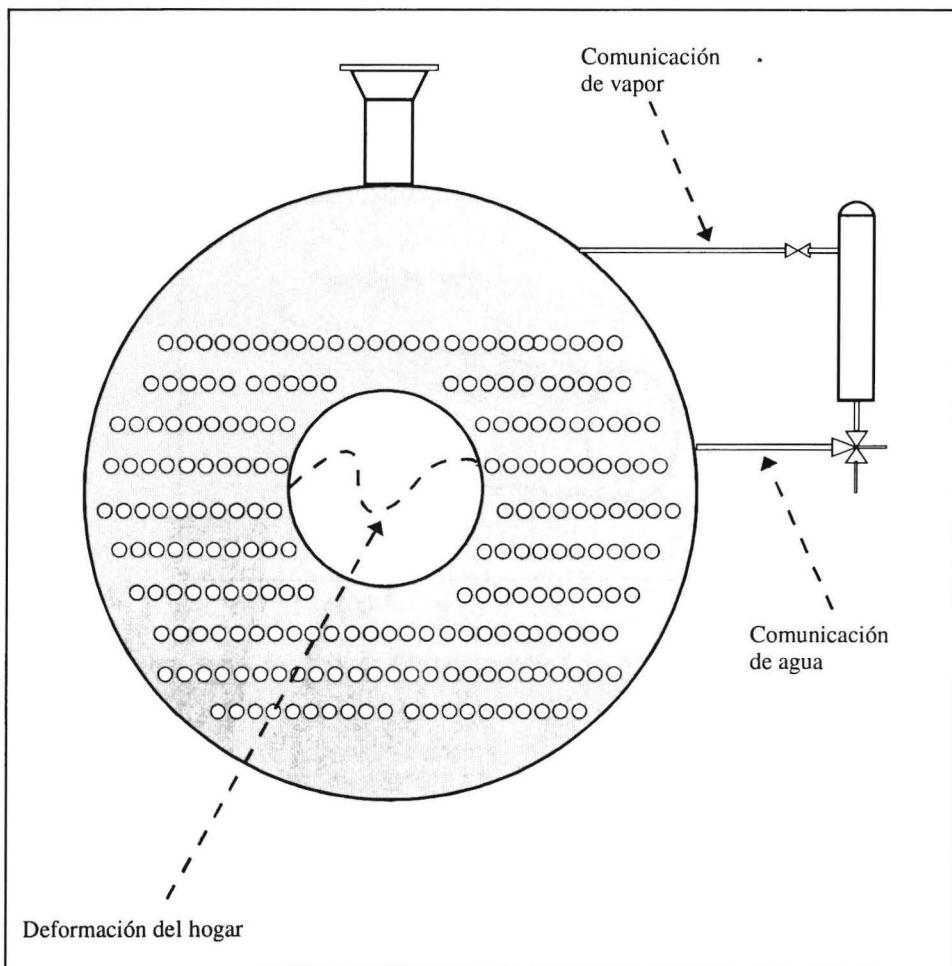


Figura 40

Estas causas tienen a su vez el origen en dos hechos principales:

- Falta de mantenimiento adecuado; la falta de purga en la cámara del flotador y sus comunicadores con la caldera es, sin duda, la más importante.
- Un tratamiento o acondicionamiento del agua de la caldera inadecuado.

Hay que resaltar que ciertos tratamientos o acondicionamientos, efectuados en el interior de la caldera, pueden provocar lodos o barros que se acumulan en la cámara del flotador si no son purgados, por lo que deben ser desecharados.

Cuando la falta de agua se debe a la acumulación de lodos en el cuerpo del regulador de nivel de agua, el fenómeno puede ser muy progresivo, dando lugar a la aparición, a lo largo de la parte superior del hogar y en toda su longitud, de líneas concéntricas (Figura 41), pudiéndose producir la ruptura del hogar (Figura 42).

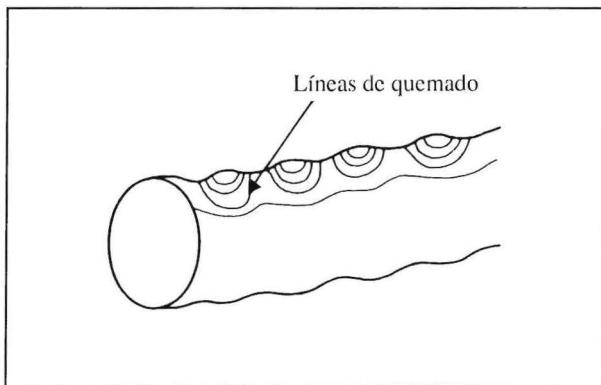


Figura 41

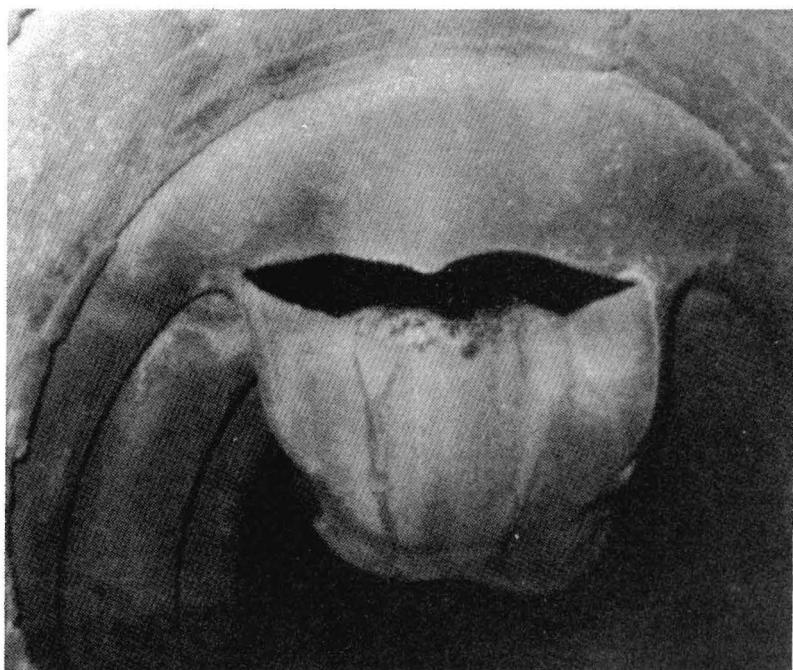


Figura 42

### 3. DEPÓSITOS E INCRUSTACIONES EN LA PARED DEL HOGAR

Los depósitos que se producen sobre las paredes del hogar de la caldera, en el lado agua, impiden una buena refrigeración del mismo, con el consiguiente riesgo de sobrecalentamiento del material que lo constituye.

En las modernas calderas, es difícil encontrar las gruesas y duras incrustaciones que se encontraban en tiempos pasados; sin embargo, sí se encuentran finos depósitos, de espesores de décimas de milímetro, adheridos a la superficie y con aspecto pastoso, así como lodos o barros.

Estos lodos se depositan sobre la parte superior de las calderas, sobre todo durante las paradas, y, cuando alcanzan una cantidad suficiente, se deslizan alrededor de las paredes del hogar hasta el fondo, pudiendo bloquear la parte inferior del mismo, entre las paredes del hogar y los tubos de humos allí dispuestos, dando lugar a la deformación de dicha zona del hogar (Figura 43).

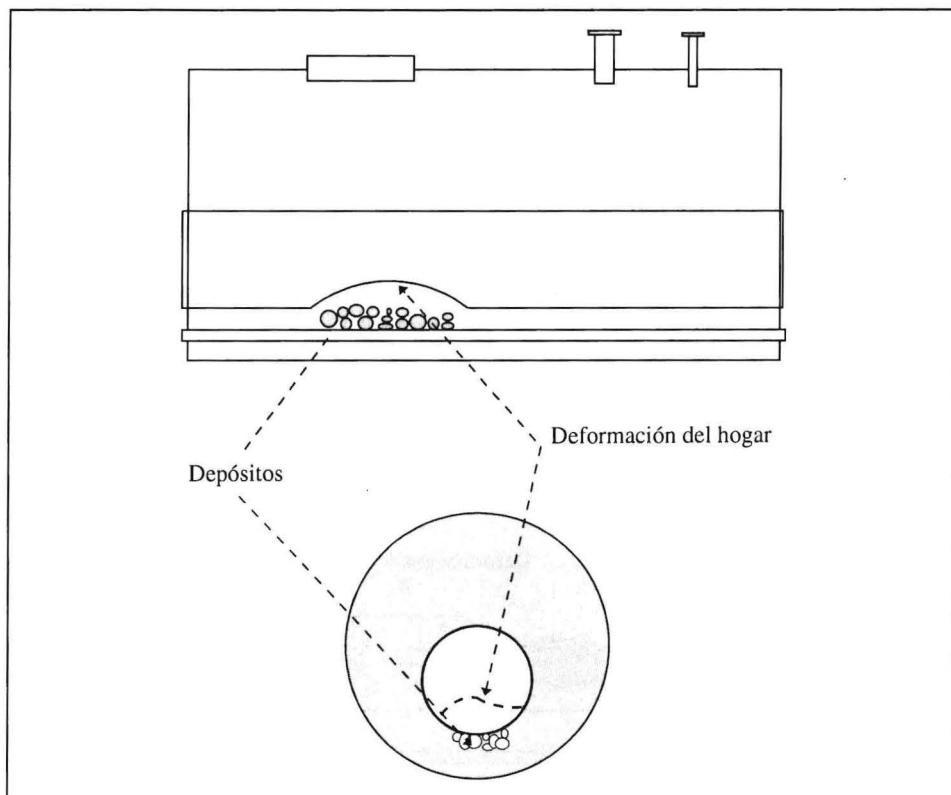


Figura 43

Como regla general e insistiendo en lo anteriormente indicado, se debe desaconsejar el tratamiento del agua de la caldera en el interior de la misma, ya que favorece la aparición de depósitos y la concentración de productos orgánicos y, por lo tanto, un mal intercambio de calor.

#### 4. MAL REGLAJE DE LA LLAMA DEL QUEMADOR

Si el quemador de la caldera está inclinado con respecto al eje del hogar, la llama chocará contra la pared del mismo, produciendo un sobrecalentamiento en la zona donde incide (Figura 44).

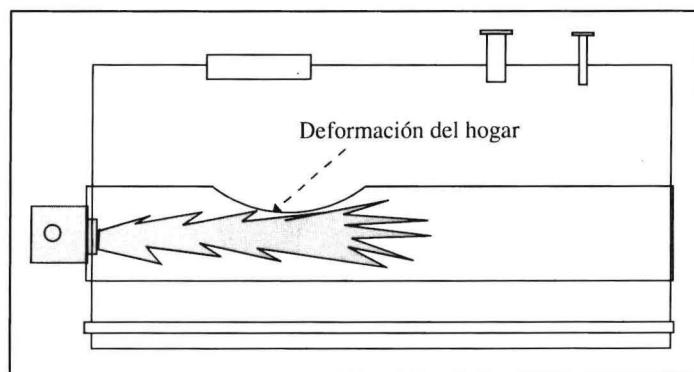


Figura 44

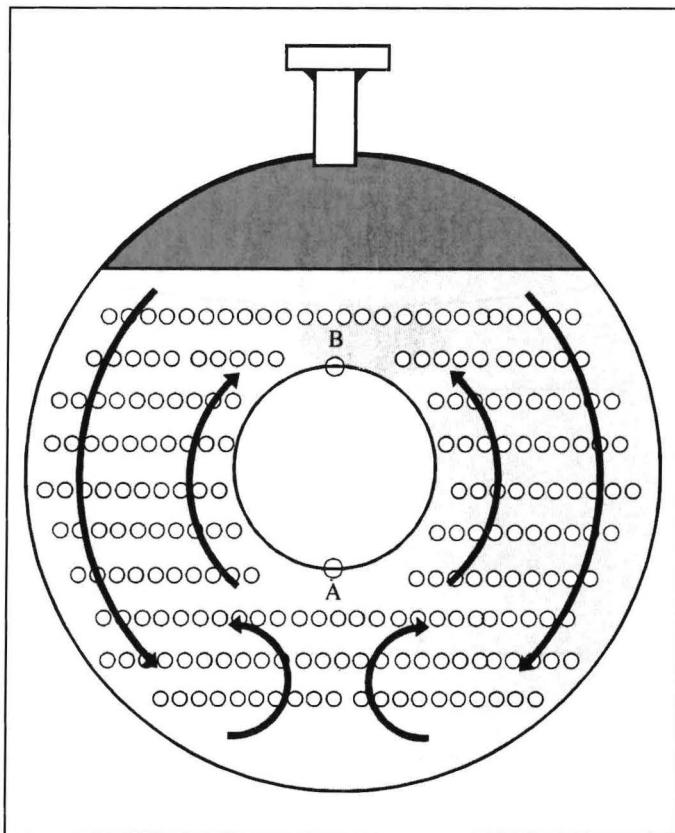


Figura 45

Por otra parte, se ha observado, en calderas que han sufrido este problema, la existencia de depósitos de coque, in quemados, alrededor de la posición donde tiene lugar la incidencia de la llama.

Esta situación se puede dar en cualquier punto de la circunferencia del hogar, siendo las generatrices superior e inferior las zonas más vulnerables.

## 5. AUSENCIA DE CIRCULACIÓN DE AGUA

La ausencia de circulación de agua es un fenómeno bastante improbable en las calderas modernas, si bien puede ocurrir que exista una refrigeración insuficiente en determinados puntos o zonas, por mala circulación.

En la Figura 45 se muestra la circulación que se establece en una caldera de hogar interior.

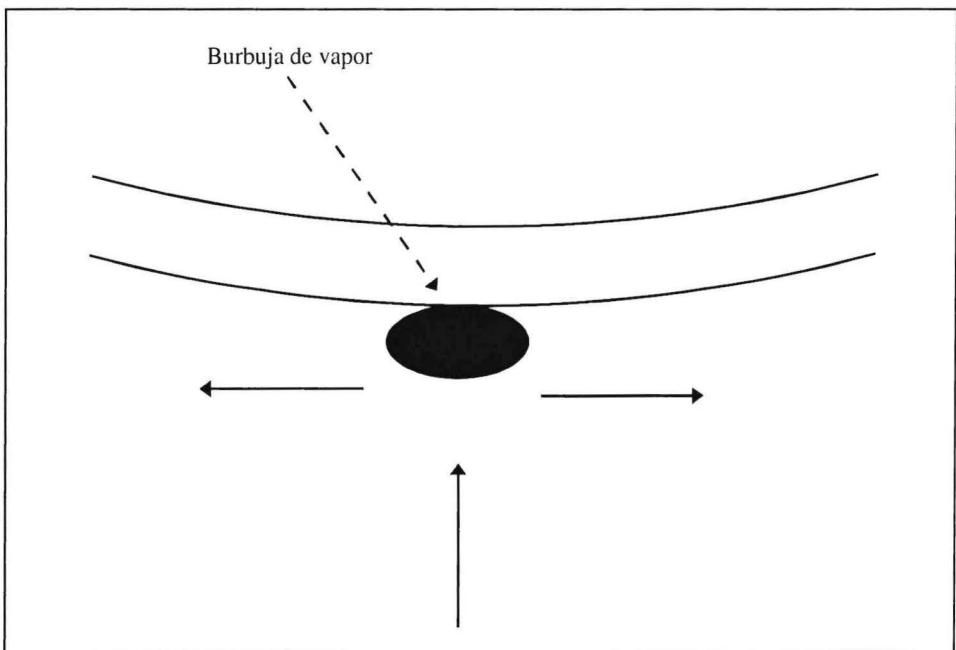


Figura 46

En los puntos A y B, situados sobre la generatriz inferior y superior del hogar, la velocidad de circulación del agua puede ser muy pequeña e incluso nula, con el consiguiente riesgo de sobrecalentamiento y deformación del hogar.

Por otra parte, en la generatriz inferior del hogar es posible que se formen burbujas de vapor (Figura 46), con lo que esas zonas quedarían aisladas térmicamente y, consecuentemente, aumentaría el riesgo de sobrecalentamiento.

También hay que considerar la falta de refrigeración que se puede producir en el hogar, durante el arranque en frío de la caldera, si ésta se ve sometida a un calentamiento muy rápido: Hay que tener en cuenta que el establecimiento de una circulación natural requiere un cierto tiempo.

El fenómeno de sobrecalentamiento se puede ver aumentado, si durante la parada de la caldera se han producido depósitos de lodos, lo que puede traducirse en la ruptura de la pared del hogar.

## XVI

### **RIESGO DE FISURAS EN EL HOGAR**

Dos son los lugares en donde pueden aparecer las fisuras en el hogar; las que aparecen en la parte delantera del mismo, zona donde se produce la apertura de la llama, y las producidas en la parte posterior del mismo.

#### **1. FISURAS EN LA ZONA DE APERTURA DE LLAMA**

Estas fisuras, que se presentan axialmente, son difíciles de discernir, apareciendo en la zona de fuego y situadas en la cima de las ondas del hogar expuestas a la llama.

Su origen parece ser debido a defectos iniciales del material, que evolucionan durante el funcionamiento de la caldera favorecidas por la existencia de depósitos en la zona agua, o un mal reglaje del quemador, produciendo el efecto dardo, una mala circulación del agua por excesivo diámetro del hogar o una puesta en marcha muy rápida de la caldera.

#### **2. FISURAS EN LA ZONA POSTERIOR DEL HOGAR**

Las causas de estas fisuras son análogas a las que aparecen en los extremos de los tubos de humos, es decir, sobresalir excesivamente el hogar de la placa tubular, existencia de aristas vivas, etc.

Otra de las causas a que pueden obedecer estas fisuras es a una mala concepción de la unión del hogar con la placa tubular, un ejemplo de lo cual queda reflejado en la Figura 47.

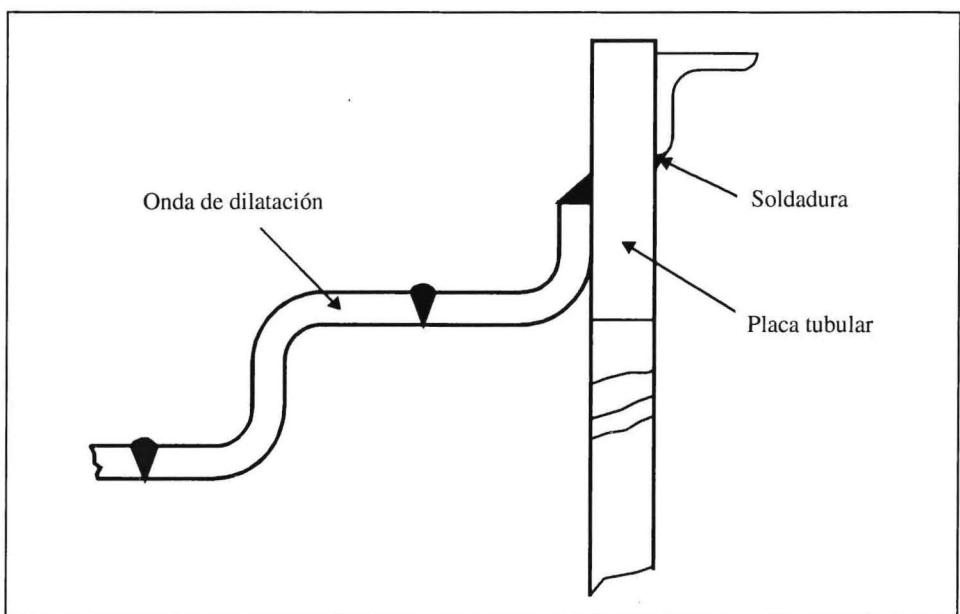


Figura 47

En dicho caso, el hogar, de paredes lisas, está unido a la placa tubular por una onda de dilatación, apareciendo fisuras radiales en la unión que se prolongan en la placa tubular, debido a una mala refrigeración, por excesivo espesor del material, al sobreponerse el de la placa tubular y el de la onda.

## XVII

### RIESGO DE ESCAPES EN LA UNIÓN DE LOS TUBOS DE HUMOS CON LA PLACA TUBULAR

Estos escapes tienen su origen en el mandrilado defectuoso o en la falta de soldadura de estanqueidad entre la placa y el tubo (Figura 48), debido a:

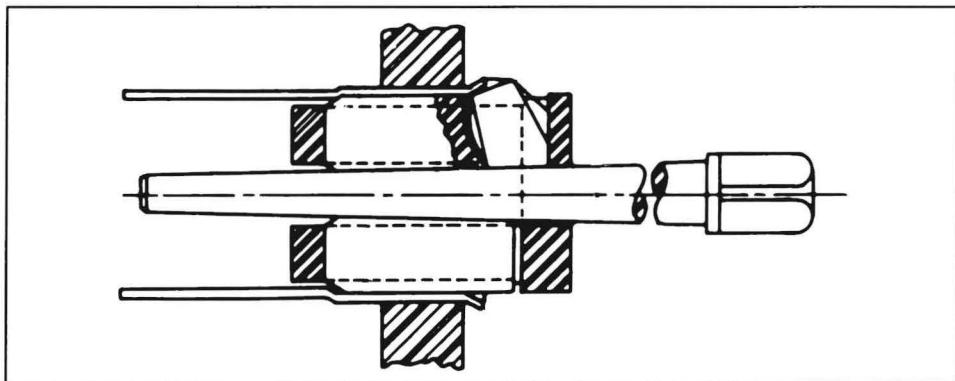


Figura 48

- Variación de la longitud de los tubos, provocado al trabajar la caldera en régimen variable.
- Sobrecalentamiento de los extremos de los tubos.
- Mandrilados repetidos.

- Alvéolos deformados o no suficientemente limpios antes del mandrilado.
- Corrosión entre el tubo y la placa tubular.

Para evitarlo, se requiere un tratamiento de agua adecuado, evitar los sobrecalentamientos y las variaciones extremas del régimen de la caldera, temperatura adecuada del agua de alimentación de la caldera, del orden de 90° C. Finalmente, hay que recordar que la regulación de la caldera mediante todo/nada deberá evitarse.

## **XVIII**

### **RIESGO DE CORROSIÓN EN EL LADO FUEGO**

Un tipo de corrosión que aparece en el lado fuego de las calderas, y en la última zona o paso del recorrido de los gases, es una corrosión ácida debida al azufre presente en combustibles como el fuel-oil; si la temperatura en dicha zona desciende por debajo del punto de rocío del SO<sub>2</sub> formado, se produce la condensación y en presencia de humedad da lugar a la formación de ácido.

Esta corrosión se produce sobre todo en calderas de agua sobrecalentada, cuando funciona a bajo régimen o bien durante las paradas, debido a la presencia de hollines ácidos.

Su efecto es tan acusado que puede obligar a la sustitución de todos los tubos que constituyen el último paso.

Las precauciones a tomar consisten en una limpieza de hollines de la pared de la caldera y, si ésta debe estar mucho tiempo parada, disponer de bloques de cal en su interior para que absorba la humedad.



## **XIX**

### **RIESGO DE EXPLOSIÓN EN LADO FUEGO**

Aunque la propia disposición de la caldera favorece la ventilación de la misma en el lado fuego, se pueden producir explosiones en su interior, debido a la acumulación de combustible, que puede tener su origen en un fallo de la llama sin que se corte la aportación del mismo, o en la falta de barrido previo al encendido, tras un intento fallido.



## XX

### OTROS RIESGOS

Entre los defectos que se pueden contemplar en este apartado, cabe citar los debidos a una mala ejecución de las soldaduras en el proceso de fabricación de la caldera. En la Figura 49 se muestran los principales defectos que se pueden encontrar en ella y, en la Figura 50, imagen de la rotura de una caldera, en su envolvente, por falta de penetración de la soldadura.

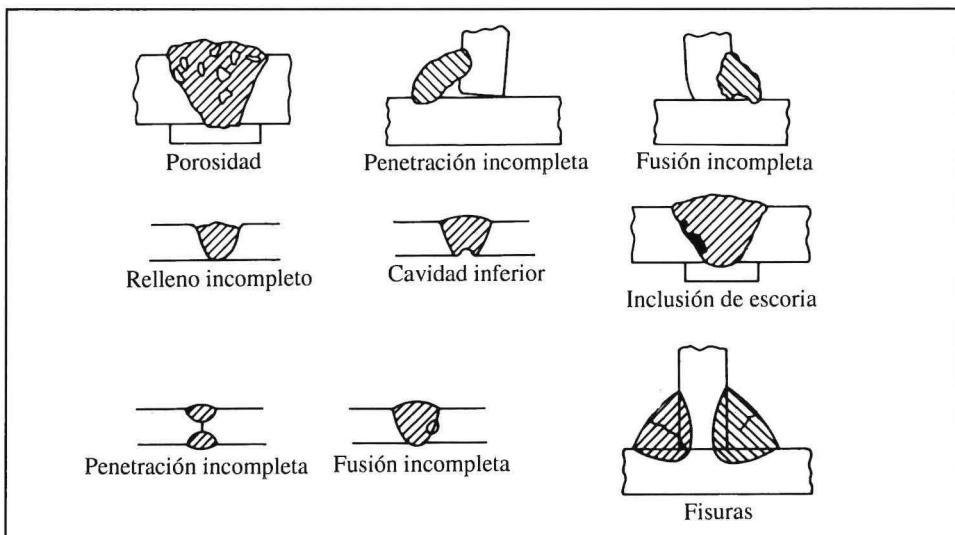
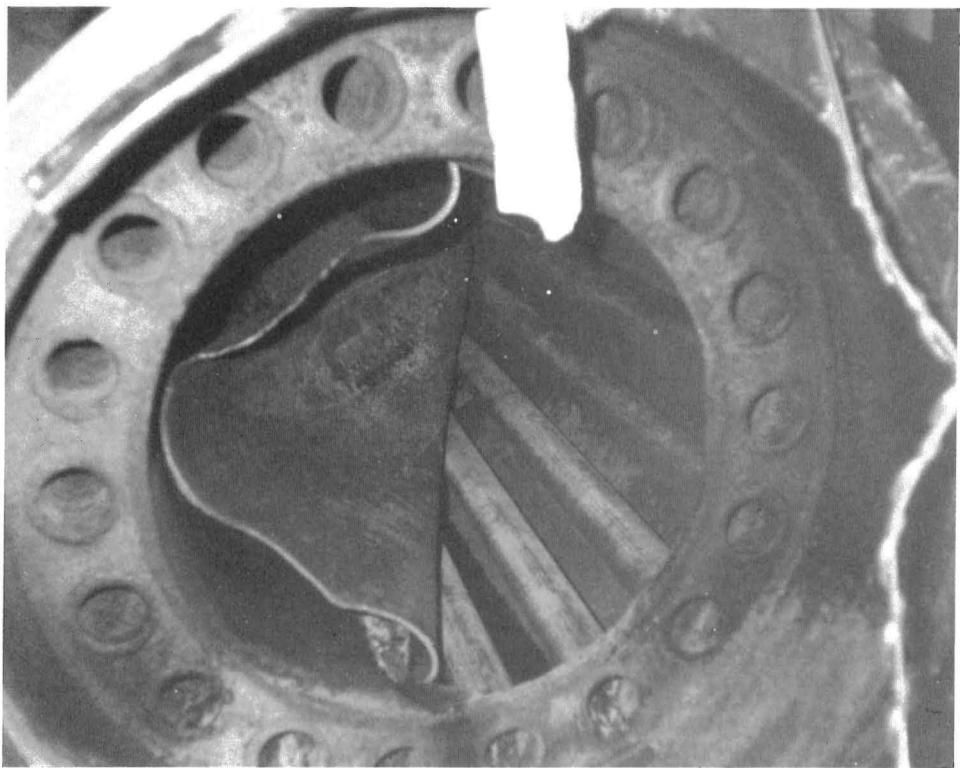


Figura 49



*Figura 50*

**RIESGOS DE ACCIDENTES  
Y AVERÍAS EN CALDERAS  
ACUOTUBULARES**



## **XXI**

### **INTRODUCCIÓN**

En este tipo de calderas, las averías más frecuentes vienen determinadas por:

- Deformación y estallido de tubos.
- Fisuración de tubos del haz sometido a radiación.
- Corrosión externa de los tubos.
- Estallido o deformación de sobrecalentadores.
- Deformación y corrosión de la envolvente calorifugada.
- Corrosión del cuerpo o de los colectores de la caldera.



## **XXII**

### **RIESGO DE DEFORMACIÓN Y ESTALLIDO DE TUBOS**

Estos incidentes pueden tener su origen en una mala refrigeración de los tubos, sobrecalentamiento por mal reglaje del quemador o sobrecarga en el funcionamiento, y defectos de los materiales de los tubos, circunstancias que se contemplan individualmente a continuación.

#### **1. MALA REFRIGERACIÓN DE LOS TUBOS**

La mala refrigeración de los tubos de la caldera puede deberse a su vez a:

- Presencia de incrustaciones en el interior de los tubos (Figura 51).

Tiene lugar con preferencia en los tubos que conforman las pantallas, debido a la gran sobrecarga térmica que reciben. Las incrustaciones pueden proceder de elementos contenidos en el agua de alimentación de la caldera, o bien proceder de sustancias presentes en el proceso de utilización del vapor, que son sobrecalentadas por el mismo y luego recogidas en los condensados.

Las calderas acuotubulares son especialmente sensibles a todo error que se produzca en el tratamiento del agua de alimentación, por lo que, en las paradas de inspección anual, se deberá comprobar la existencia de depósitos.

- Caudal de agua insuficiente en los tubos. La falta de caudal de agua se puede deber a:
  - Obstrucción total o parcial de los tubos por depósitos; hay que tener en

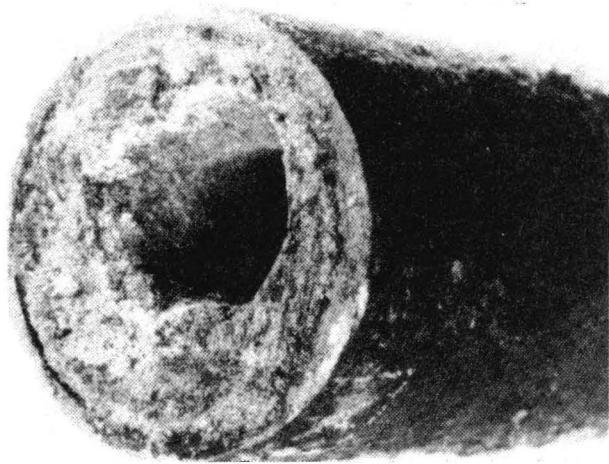


Figura 51

cuenta que los barros y lodos se depositan principalmente en aquellas zonas de la caldera en las que la velocidad de circulación del agua es menor.

En la Figura 52 se muestra un esquema de una caldera y los puntos donde se producen los depósitos.

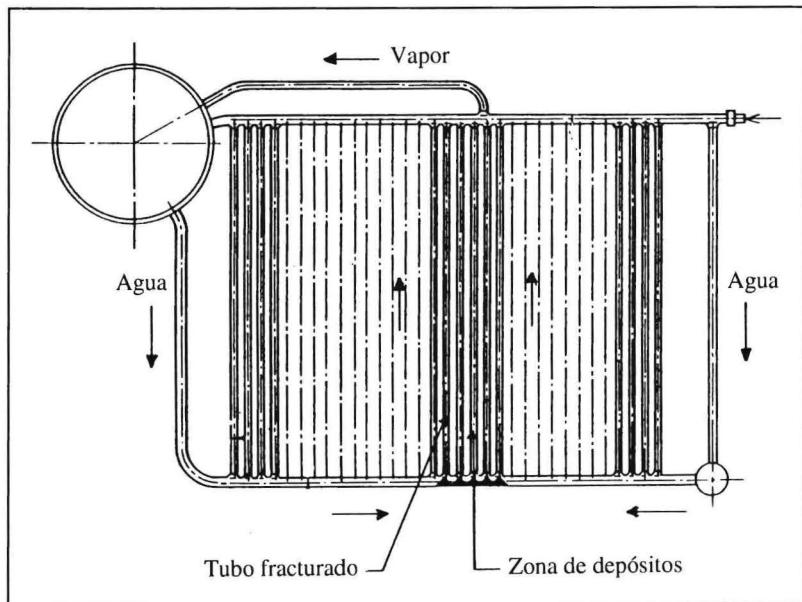


Figura 52

- Insuficiente velocidad de circulación de agua en la caldera, con lo que las burbujas de vapor producidas en los tubos no son arrastradas con la suficiente rapidez, produciéndose sobrecaleamiento de los tubos.
- Defectos de construcción de la caldera.
- Falta de agua en la caldera; obedeciendo, en la mayoría de los casos, a obstrucción de los reguladores de nivel de agua; la Figura 53 muestra una obstrucción en la conexión, lo que ocasiona que no se ponga en marcha la bomba de alimentación.

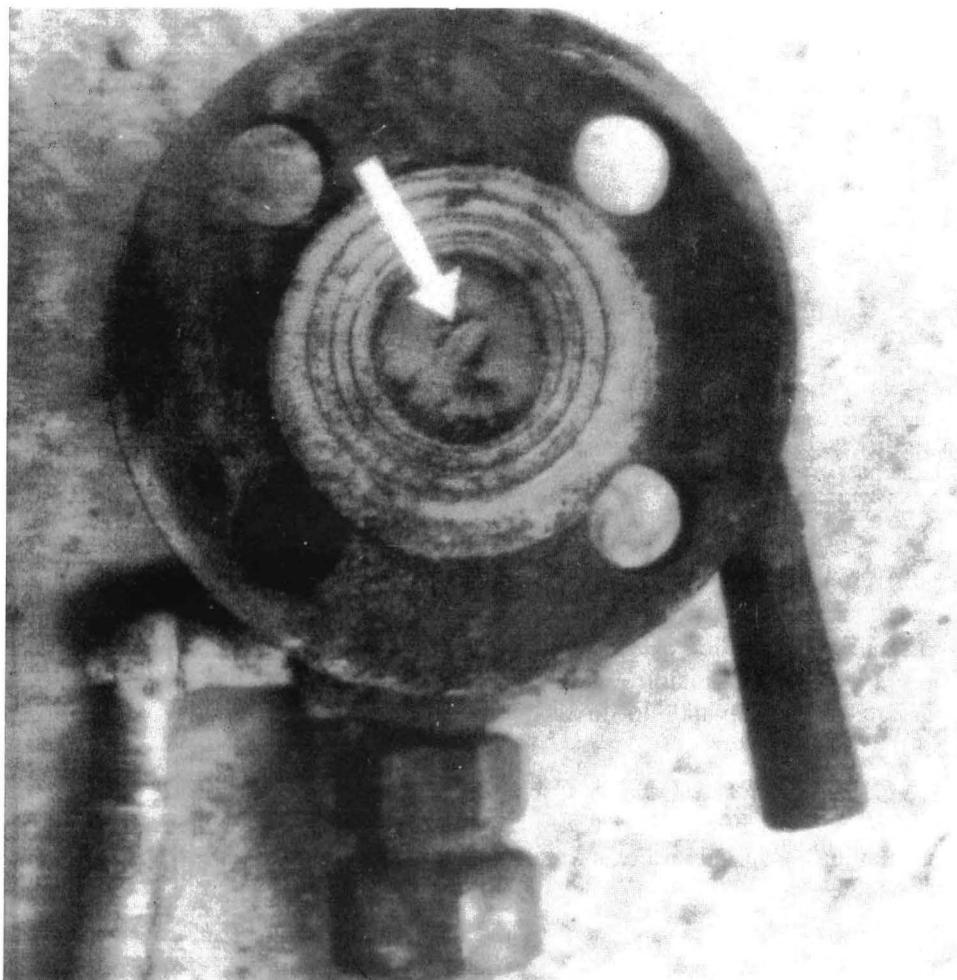


Figura 53

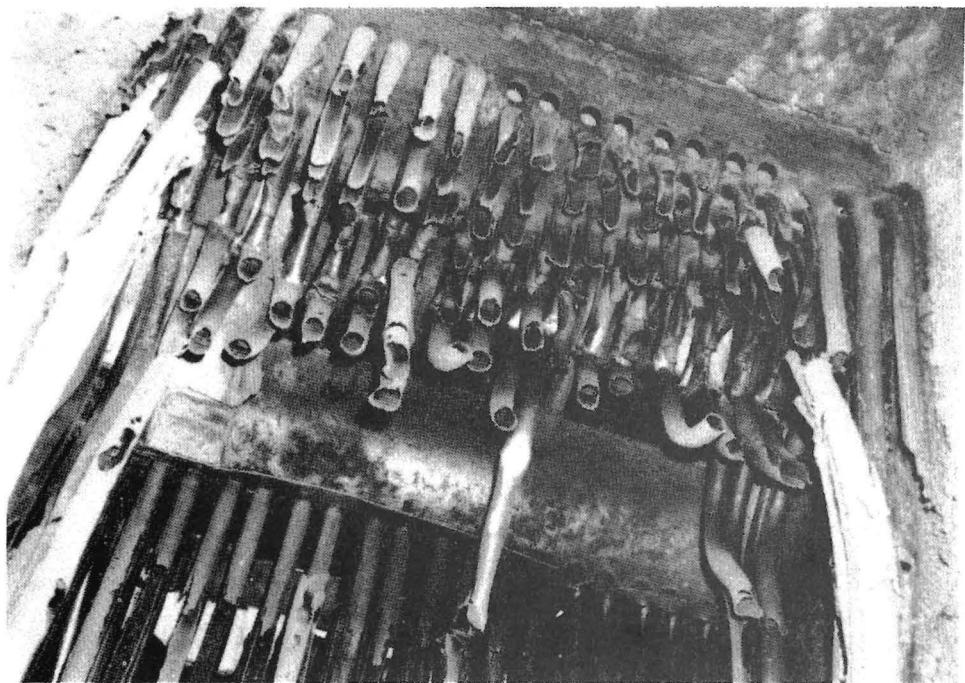


Figura 54

El descenso del nivel de agua puede ser muy rápido en calderas acuotubulares, dado su pequeño volumen relativo, pudiéndose llegar a romper todos los tubos de la caldera (Figura 54).

## 2. MAL REGLAJE DEL QUEMADOR

Al igual que se vio en calderas pirotubulares, un mal reglaje del quemador hace que la llama pueda incidir en forma de dardo sobre una determinada zona de la caldera, sobrecalentando los tubos que en ella se encuentran.

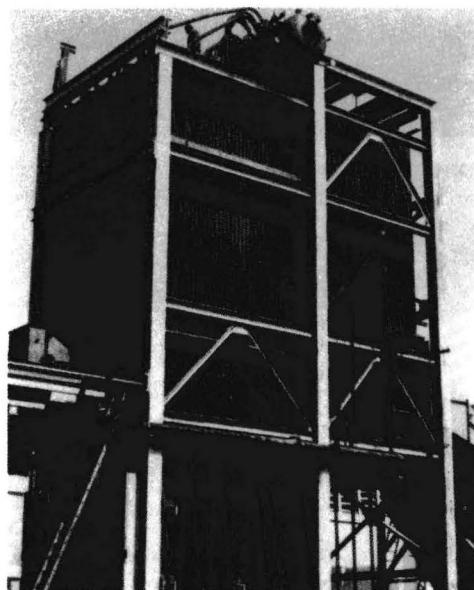
## 3. SOBRECARGA DE LA CALDERA

La marcha de la caldera a una carga superior a la máxima establecida por el fabricante tiene efectos muy negativos, debido a la sobrecarga térmica a la que se ve expuesta.

## **XXIII**

### **RIESGO DE FISURAS EN LOS TUBOS DEL HOGAR**

Se vio en la descripción de las calderas cómo el hogar de una caldera acuotubular está formado generalmente por paneles constituidos por tubos (Figura 55) que están sometidos a la radiación de la llama del quemador.



*Figura 55*

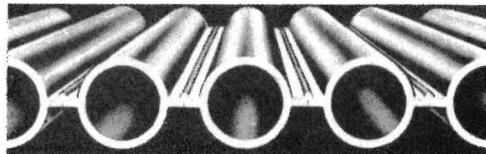
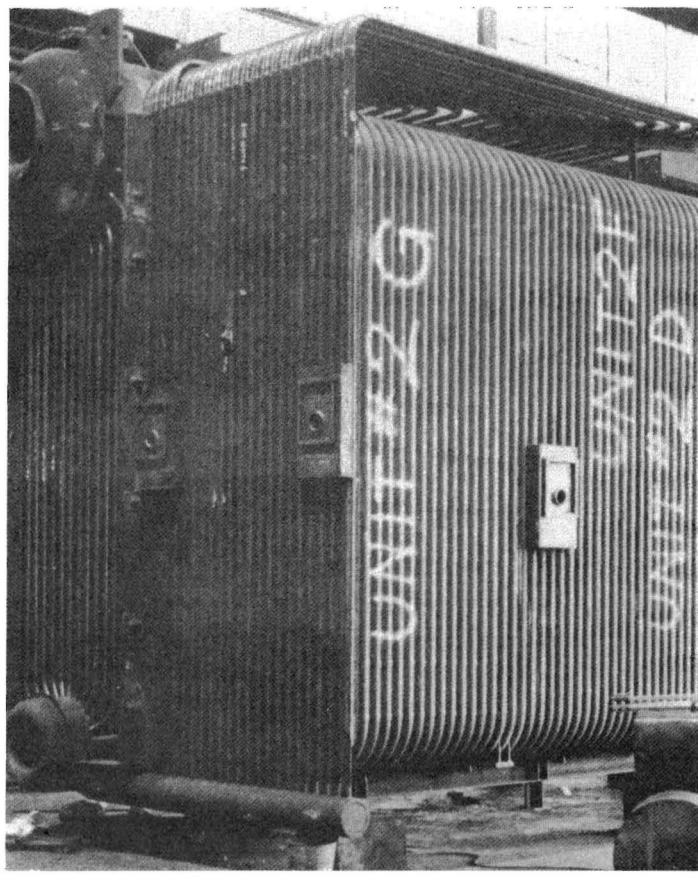


Figura 56

Los tubos, a su vez, pueden ser tubos desnudos o tubos aleteados, existiendo en estos últimos dos posibilidades: que las aletas formen cuerpo único con el tubo, o bien que estén soldadas longitudinalmente al tubo.

La construcción de los paneles de tubos se efectúa soldando los tubos desnudos mediante interposición de intercaladores o bien soldando las aletas de los tubos (Figura 56).

Dichas aletas están expuestas a sobrecalentamiento y oxidación, razón por la cual deberán tener una anchura y espesor adecuados, para que se favorezca la transmisión de calor.

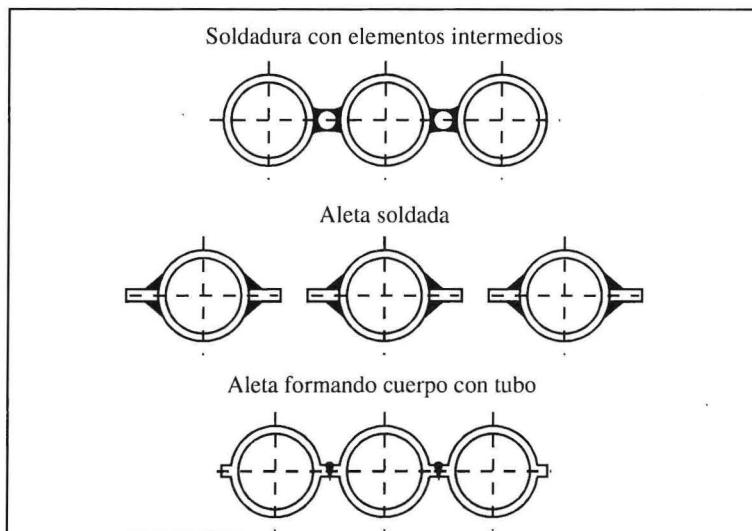


Figura 57

Así mismo, dado que pueden aparecer fisuras en las soldaduras de unión de las aletas con el tubo, dicha soldadura deberá tener un espesor de al menos el espesor de la aleta, y deberá unirse de forma progresiva con el tubo (Figura 57).

Otra consideración a tener en cuenta es que el espesor del tubo sea el suficiente, para que no se produzca su perforación durante la soldadura.

Finalmente, la anchura de las aletas también deberá estar limitada, con objeto de reducir las fatigas resultantes de las distintas dilataciones a que están sometidos sus extremos, por tener distintas temperaturas.



## **XXIV**

### **RIESGO DE CORROSIÓN EXTERIOR DE TUBOS**

La corrosión en el exterior de tubos se presenta principalmente en aquellas calderas que disponen de tubos recubiertos parcialmente de refractario, como pueden ser los tubos del suelo del hogar, o bien en aquellos otras que poseen tubos de difícil acceso.

#### **1. CORROSIÓN DE TUBOS RECUBIERTOS DE REFRACTARIO**

Tiene lugar preferentemente en calderas de agua sobrecaleñada o en calderas de vapor con marcha intermitente, que usan como combustible un fuel pesado.

En la Figura 58 se muestra el esquema de una caldera de agua sobrecaleñada, que dispone de tubos recubiertos de refractario en sus 2/3 constituyendo el suelo de la misma.

La corrosión de tubos en estas calderas se debe atribuir a una marcha intermitente con períodos en los que la temperatura del agua de retorno a la caldera desciende hasta los 90-80°C, lo que provoca la aparición de humedad, corroyendo la tubería tal como se muestra en la Figura 59, en la superficie del tubo en contacto con el refractario.

#### **2. CORROSIÓN POR HOLLINES**

Las calderas acuotubulares presentan a menudo complicados circuitos de recorrido de los gases de combustión y, por tanto, presencia de tubos con difícil

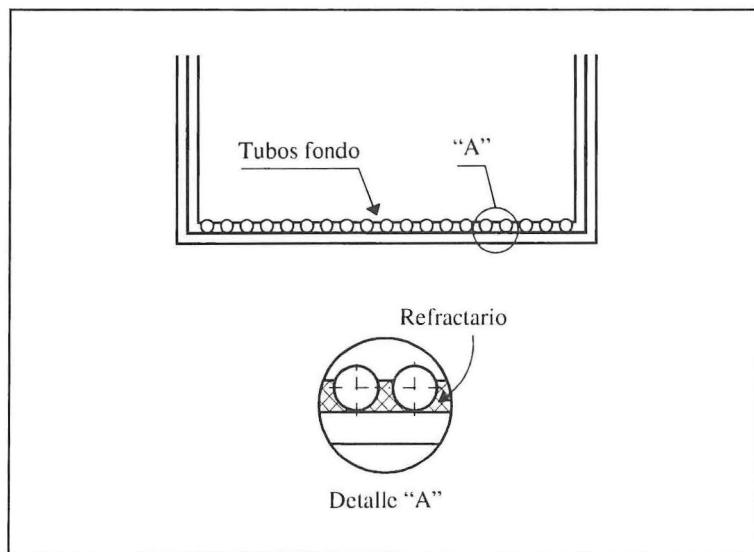


Figura 58



Figura 59

acceso. En esos tubos se depositan hollines, a menudo de carácter ácido, por ejemplo si la caldera emplea un combustible rico en azufre, que son difíciles de eliminar y que pueden dar lugar a ácidos, en presencia de humedad, con la consecuente corrosión de los tubos.

### 3. CORROSIÓN DE TUBOS BAJO EL AISLAMIENTO

Algunos tubos de la caldera, como los de retorno de agua, alimentación, purgas, etc. pueden estar situados en zonas relativamente frías de la caldera y protegidas

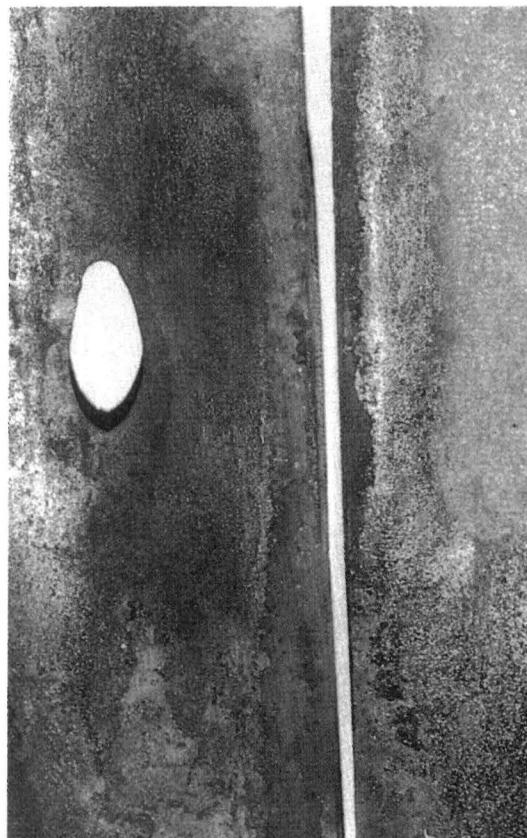


Figura 60

con aislamiento. En estas circunstancias, la presencia de humedad en el interior del aislamiento, y sobre todo si hay escapes de vapor, aunque sean mínimos, da lugar a fuertes corrosiones de la tubería (Figura 60).



## **XXV**

# **RIESGO DE EROSIÓN DE TUBOS EN EL HAZ DE CONVECCIÓN**

La erosión de tubos puede ser debida a un mal reglaje del soplador de hollín o bien a cenizas y/u hollines arrastrados por la corriente de humos que circula por la caldera y que ejercen un efecto de lijado de los tubos.

### **1. SOPLADORES DE HOLLÍN MAL REGULADOS**

Un mal reglaje en dichos sopladores hace que el vapor soplado se concentre sobre zonas determinadas, erosionando los tubos que se encuentran en ellas, erosión que puede ser bastante acusada si las válvulas de salida de vapor no ajustan bien su cierre, dejando escapar continuamente un chorro de vapor.

También hay que tener en cuenta que, si el vapor utilizado para el soplado no está suficientemente seco, las gotas de agua arrastradas actúan como proyectiles al chocar contra las tubos, deteriorándolos rápidamente.

### **2. ACCIÓN DE CENIZAS Y HOLLINES**

Este tipo de erosión se da principalmente en calderas que utilizan combustibles sólidos, en aquellas zonas que se forman fuertes turbulencias o donde los humos se desplazan a gran velocidad.

La erosión no se produce puntualmente, sino que se extiende a una zona de la caldera o a varios tubos de la misma.

La rotura de tubos debida a la erosión, se caracteriza por no tener signos de sobrecalentamiento, su interior está limpio y en la zona de rotura aparece un adelgazamiento de las paredes, no presentando los bordes de rotura prácticamente nada de estiramiento.

## **XXVI**

### **RIESGO DE CORROSIÓN INTERNA DE TUBOS**

Los tubos de las calderas, debido a su pequeño espesor, están particularmente expuestos a la corrosión interna, que en la mayoría de los casos tiene su origen en una mala calidad del agua de alimentación, que puede resultar extraordinariamente agresiva por concentraciones anormales de elementos ácidos o básicos.

Así mismo, durante el funcionamiento de la caldera y según sea el proceso donde se emplee el vapor, los condensados pueden contaminarse con elementos corrosivos debido a una mala estanqueidad, por ejemplo de un condensador, con lo que, si dichos condensados retornan a la caldera como agua de alimentación, se tiene asegurada la posibilidad de corrosión. Otras fuentes de contaminación pueden residir en un agua mal desalinizada o en la presencia de microorganismos.

Finalmente hay que considerar la influencia de la calidad del agua, en la corrosión que se presenta durante la parada de las calderas y que se tratará específicamente.



## **XXVII**

# **RIESGO DE DEFORMACIÓN, ROTURA Y CORROSIÓN DE LOS TUBOS DEL SOBRECALENTADOR**

El sobrecalentador de una caldera está expuesto a riesgos específicos durante la puesta en marcha de la caldera, durante su funcionamiento y en la parada:

### **1. INCIDENTES EN LA PUESTA EN MARCHA**

Durante la puesta en marcha de la caldera, ha de transcurrir un período de tiempo hasta que se produce vapor durante el cual el sobrecalentador puede estar sometido a sobrecarga térmica por encontrarse vacío y por lo tanto sin refrigeración, lo que se puede traducir en deformaciones o rotura de tubos.

Para evitar dicho sobrecalentamiento, se deberá proceder a una puesta en marcha controlada, que vaya alcanzando la temperatura de régimen de una forma paulatina. Si la configuración lo hiciese posible, se deberá llenar de agua el sobrecalentador para la puesta en marcha.

### **2. INCIDENTES EN OPERACIÓN**

Durante el funcionamiento de la caldera se pueden producir depósitos en el sobrecalentador, dando lugar a sobrecalentamiento del mismo, con la posible rotura y deformación de los tubos. Estos depósitos tienen su origen en las materias contenidas en el agua de la caldera, la cual es arrastrada por el vapor satura-

do en el calderín y vaporizada en el sobrecalentador. Esta circunstancia viene favorecida por la poca distancia existente entre el plano del nivel de agua alcanzado en el calderín y las tuberías de salida de vapor saturado, la pequeña sección de las tuberías que favorecen una elevada velocidad del vapor y una marcha de la caldera con importantes variaciones de carga.

Otra circunstancia que favorece el arrastre de agua por el vapor viene determinada por un mal diseño de la tubería de alimentación de agua, incidiendo directamente sobre la corriente de vapor.

### 3. CORROSIÓN EN EL SOBRECALENTADOR

Los sobrecalentadores están constituidos generalmente por serpentines dispuestos verticalmente (Figura 61), razón por la cual, durante las paradas de la caldera, el vapor condensado se estanca en los codos que forman la parte inferior de los serpentines y que, en contacto con aire, favorece la corrosión de los mismos.

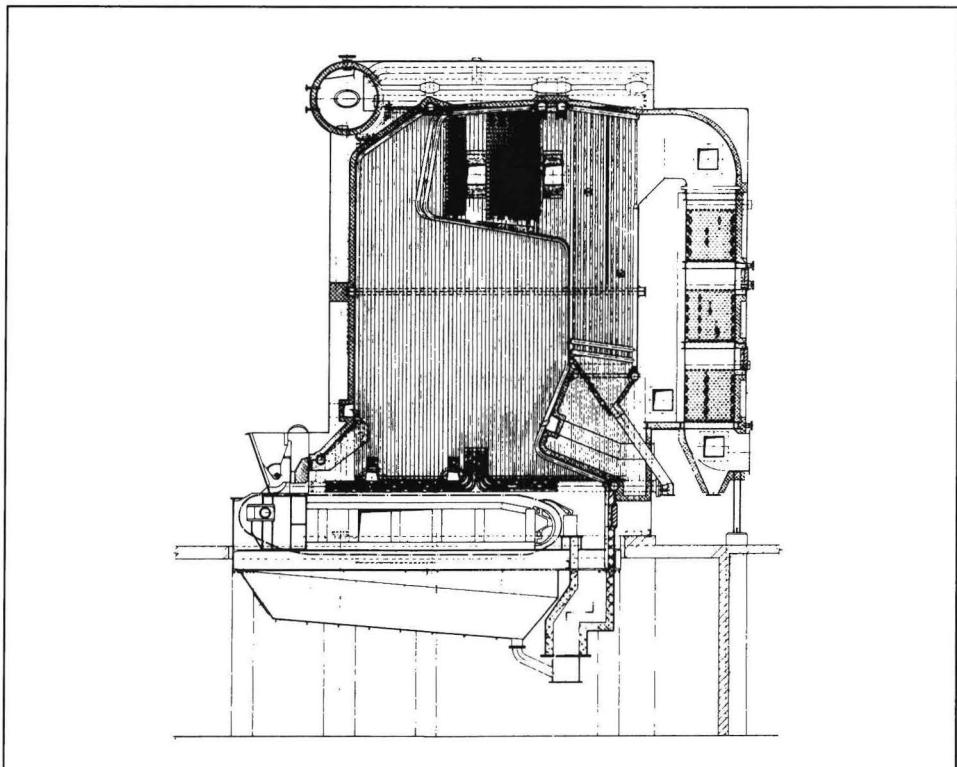


Figura 61

Como medida de prevención para evitar dichas corrosiones, se deberá eliminar todo condensado que se produzca en el sobrecalentador, bien por vaciado, por calentamiento y evaporación o haciendo circular una corriente de aire caliente entre el calderín o el colector de entrada y el sobrecalentador.

Otro modo de evitar dichas corrosiones sería el llenar totalmente el sobrecalentador con agua tratada, si bien no se puede asegurar un llenado completo de los tubos.



## **XXVIII**

# **RIESGO DE CORROSIÓN, ROTURA Y DEFORMACIÓN DE LA ENVOLVENTE EXTERIOR DE LAS CALDERAS**

Esta envolvente, calorifugada, presenta como incidentes más usuales la corrosión de sus paredes, debida a agentes externos y/o internos, rotura debida a dilataciones diferenciales y deformaciones provocadas por explosiones de gas en el circuito de humos.

### **1. CORROSIONES**

La corrosión puede tener su origen en agentes exteriores, los cuales atacan el material de la envolvente, análogamente a como se realiza en cualquier otro equipo, siendo un típico ejemplo la presencia de humedad entre el aislamiento y la envolvente.

Otras corrosiones tienen origen interno, debido a posibles fugas de humos si la envolvente no es completamente estanca, y que son favorecidas si el hogar se encuentra en sobrepresión, pudiéndose producir condensaciones de ácidos que llegan a atacar y perforar la envolvente de la caldera. La corrosión progresará rápidamente en este caso, ya que el orificio que se produce permitirá una circulación continua de gases de combustión con sus componentes ácidos.

### **2. ROTURA DE LA ENVOLVENTE**

Para evitar los problemas de corrosión anteriormente descritos, que son debidos a la presencia de una envolvente fría que favorece la condensación de los ele-

mentos ácidos de los humos, se emplea un tipo de construcción de envolvente de la caldera, tal como se indica en la Figura 62.

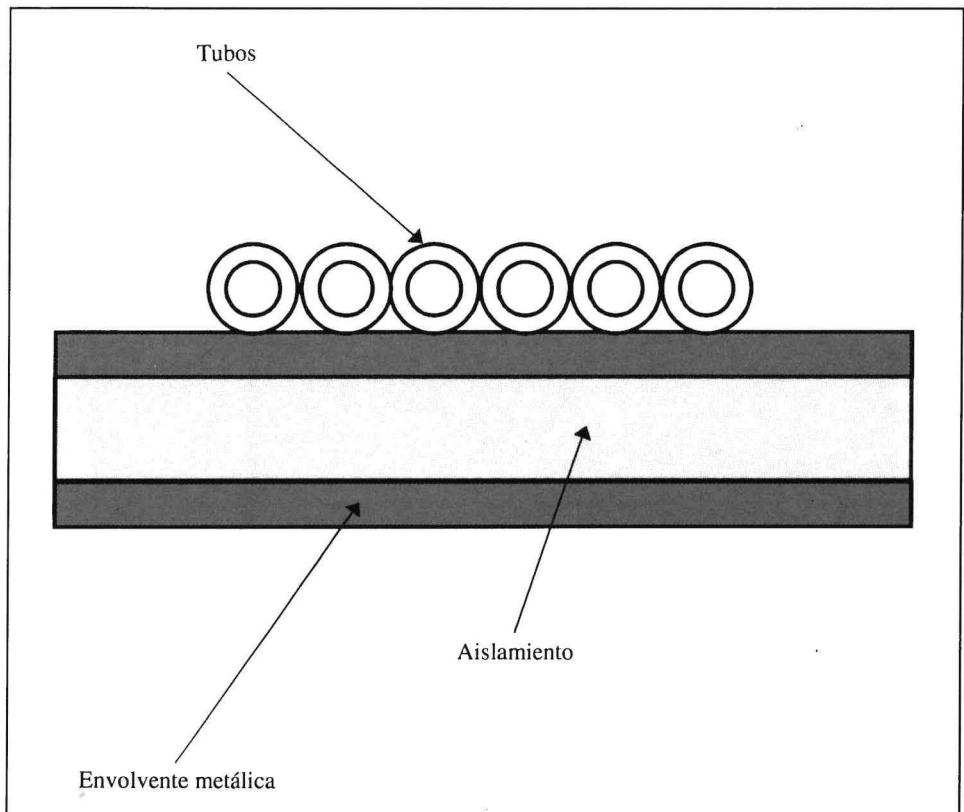


Figura 62

En ella se puede apreciar la existencia de dos envolventes metálicas con interposición entre ambas de un material aislante. La pared que está en contacto con los tubos de la caldera se encuentra a la misma temperatura que dichos tubos, por lo que, si la caldera presenta fuertes variaciones de carga durante su funcionamiento, la pared estará sometida a continuas dilataciones y contracciones. Para evitar el efecto pernicioso de las mismas, la envolvente caliente suele estar formada por virolas que llevan sus extremos conformados y unidas entre sí por soldadura, formando ondas de dilatación (Figura 63).

Si el número de ondas de dilatación no es el adecuado, se produce la rotura en la unión soldada, dando lugar al escape de los gases de combustión.

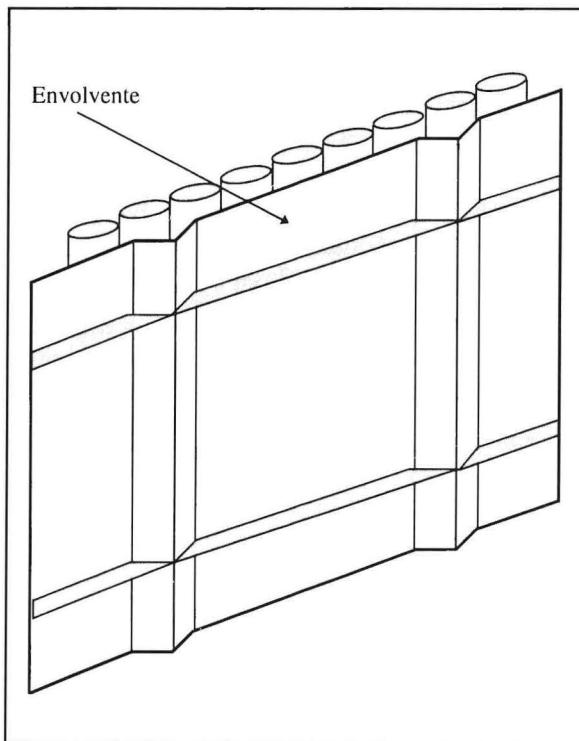


Figura 63

### 3. EXPLOSIÓN EN LADO FUEGO

Estas explosiones son debidas a la acumulación de combustible en el circuito de humos, circunstancia que se ve favorecida por la complejidad que éstos pueden alcanzar.

La explosión se produce a menudo durante la puesta en marcha manual de la caldera debido a:

- Escapes en el quemador, que deja salir el combustible durante la parada del mismo.
- Sucesivas tentativas fallidas de encender la caldera, sin efectuar una ventilación adecuada entre cada tentativa.
- Defectos en los circuitos de mando.

Con objeto de evitar estas explosiones se deberán tomar las siguientes medidas preventivas:

- Las válvulas de los quemadores tendrán un mantenimiento adecuado y se tendrá asegurada su estanqueidad.
- La pulverización de combustibles por el quemador se efectuará en condiciones adecuadas, adaptándose en cada momento a la carga requerida en la caldera.
- Cuando se empleen combustibles sólidos pulverizados, líquidos o gaseosos, el quemador estará dotado de un detector de llama, el cual cortará el paso de combustible ante una desaparición de la misma.
- Antes de poner en funcionamiento la caldera o tras un intento fallido de encenderla, se efectuará un barrido del circuito de humos para desalojar los gases que hayan podido quedar en el mismo.

Medidas que se contemplan más especificadas en el Reglamento de Aparatos a Presión.

## **MEDIDAS PREVENTIVAS**



## **XXIX**

### **INTRODUCCIÓN**

Se han visto en capítulos anteriores los principales riesgos que se pueden presentar en calderas y los efectos que los mismos pueden tener sobre las mismas, pudiéndose decir que, en su conjunto, su origen se puede encontrar en alguno de los siguientes puntos:

- Mal diseño, fabricación y/o montaje del aparato.
- Mala conducción o manejo del mismo.
- Mal mantenimiento del aparato.
- Mala formación e información del usuario.

En los siguientes apartados se considera cada uno de dichos puntos, indicándose la forma de proceder para la eliminación de riesgos.



## **XXX**

### **DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL APARATO**

Aunque el diseño y construcción de una caldera es un tema muy complejo y específico, que no puede ser abordado en este texto ya que escapa a la labor del técnico prevencionista, sí es necesario relacionar el conjunto de información que debe ser exigido con todo aparato, es decir, el Expediente de Control de Calidad, que avala una adecuada fabricación, de acuerdo con el Código o Norma de diseño empleado.

Como información que debe figurar en dicho Expediente se tiene:

- Hoja de datos del aparato, con los datos y características del equipo y los elementos incorporados al mismo.
- Documentos de control de materiales, en el que figurará un dibujo esquemático con la situación de los materiales controlados y sus marcas de identificación, así como una relación de los mismos, con los siguientes certificados:
  - Certificado de calidad de chapas, tubos, bridas, etc, expedido por el fabricante respectivo y donde se incluyan las referencias que procedan para su identificación, como por ejemplo el número de colada, serie, etc., así como la composición química y características mecánicas.
  - Certificado de calidad de los consumibles empleados en las uniones soldadas, incluyendo composición y características mecánicas, expedidos por el fabricante de los mismos.
- Documentos de control de ejecución de soldaduras, en donde figurará:
  - Certificado de procedimiento, en el que figurará el método de soldadura empleado, preparación de los bordes para soldadura, el proceso a seguir

en la soldadura de la unión y parámetros correspondientes, que estarán certificados por Entidad adecuada y capacitada para realizar las pruebas y ensayos correspondientes.

- Dibujos esquemáticos con la situación de las uniones y relación de las mismas, con indicación de las especificaciones de procedimientos empleados y sello del soldador ejecutante.
- Certificado de cualificación de soldadores, emitidos por Entidad independiente y capacitada para la realización de los exámenes.
- Documentos de control de ensayos no destructivos:
  - Dibujo esquemático con la situación de las zonas controladas mediante ensayos no destructivos.
  - Informe de los resultados obtenidos en los controles; radiografiado, ultrasonidos, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, etc.
- Documentos de control de ensayos destructivos; solamente si procede realizar dichos ensayos, se adjuntarán dibujos de la situación de las zonas controladas e informe de los ensayos.
- Documentos de control de tratamiento térmico de distensionado, cuando sea preciso realizarlo; en él se incluirá en qué consiste el tratamiento, sistema empleado, temperatura del tratamiento, tiempo de permanencia de la misma y velocidad de calentamiento y enfriamiento, así como el gráfico de registro de temperaturas y el tiempo de tratamiento.
- Documentos de control dimensional del conjunto resistente, consistente en un plano general del conjunto sometido a presión, en donde se indicarán las cotas reales de los distintos elementos que componen el conjunto.
- Documento de control de pruebas y de la especificación de la primera prueba de presión y su informe correspondiente.
- Documento de control de funcionamiento donde se recogerá la especificación y el informe de la prueba de funcionamiento del equipo completo.
- Documentos de identificación del equipo; facsímil de la placa de características y de la placa de diseño instaladas en el equipo.

La existencia de este Certificado de Calidad viene a garantizar un diseño y fabricación adecuados, lo que a su vez garantiza la seguridad del equipo.

Hay finalmente que indicar, que estos aparatos entran dentro del campo de aplicación del vigente Reglamento de Aparatos a Presión y/o del Reglamento de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, en los que específicamente se determinan los requisitos que deben de cumplir, no solo para su autorización de instalación y puesta en marcha, si no a lo largo de su vida útil, y cuyo cumplimiento avalan la seguridad de la caldera.

## **XXXI**

### **CONDUCCIÓN O MANEJO DEL APARATO**

La conducción adecuada de la caldera no es solamente fundamental para obtener un buen rendimiento de la misma, sino que de ello va a depender la seguridad en la operación.

Se indica a continuación una serie de recomendaciones, válidas genéricamente, si bien hay que resaltar que son las recomendaciones efectuadas por el fabricante las que primarán en todo momento y que anularán cualquier otra recomendación de las aquí manifestadas.

#### **1. OPERACIONES DE PREPARACIÓN DE LA CALDERA**

La primera operación que se debe efectuar para poner en marcha una caldera será la preparación de la misma, realizándose las siguientes operaciones:

- Se procederá a la inspección interna del hogar, pasos de gases, calderines, conductos de aire y de gas, economizador, precalentador, etc., para asegurarse de que todo está bien montado y libre de obstrucciones y restos de montaje.
- Se inspeccionarán y operarán todos los componentes del sistema de combustión, hasta donde sea posible, sin admitir combustible en el hogar.
- Se accionarán todos los componentes del sistema de tiro y los elementos del sistema de control automático, en su caso, para determinar que están en buenas condiciones.

- Se asegurará que todas las puertas, accesos, etc., están en condiciones de operación y operan adecuadamente.
- Se comprobará el buen funcionamiento de todos los dispositivos de regulación y de seguridad tales como: válvulas, bloqueos, paso de alimentación de combustible, etc.
- Se comprobará que están en buenas condiciones y cerradas las válvulas de purga, columnas de agua, válvulas de drenaje de indicadores de nivel, grifos de prueba y válvulas, controles de agua de alimentación.

## 2. LLENADO DE LA CALDERA

El llenado comportará las siguientes operaciones:

- Llenado, hasta el nivel de operación recomendado por el fabricante, con agua tratada adecuadamente, la cual se encontrará preferiblemente a temperatura ambiente, a fin de no provocar bruscas dilataciones a los materiales. En ningún caso se encontrará a la temperatura de ebullición.
- Una vez llena, se abrirán y cerrarán los grifos de los indicadores de nivel y las válvulas de purga de la columna de agua, para asegurarse de que las conexiones están libres y limpias.
- Se comprobará el manómetro y su circuito, así como el que todas las válvulas estén abiertas.
- Se comprobará que las válvulas de seguridad están en condiciones de operación y las tuberías de descarga son adecuadas y convenientemente dirigidas fuera de la sala de las calderas.

## 3. SECADO DE LA CALDERA

Determinadas partes de la caldera, especialmente las toberas de los quemadores, puertas de acceso, etc., están formadas por cementos o refractario, el cual requiere la eliminación de la humedad de los materiales y poder conseguir unas buenas características de los mismos sin agrietamiento.

Esta operación, denominada “secado de la caldera”, se realiza conjuntamente con el denominado “hervido”, que se indica a continuación.

## 4. HERVIDO DE LA CALDERA

Cuando se trata de una caldera nueva, sus superficies internas, calderines, colectores, tubos, etc. están en general manchados de aceite y de grasa, o bien están

recubiertos por sustancias protectoras, aplicadas durante la fabricación o almacenamiento. Estas sustancias es preciso eliminarlas de la caldera ya que, al ser malas conductoras del calor, su presencia puede ocasionar sobrecalentamientos en las distintas partes de la caldera, lo que origina alguna de las incidencias que se vieron al hablar de los riesgos.

El procedimiento más usual es la limpieza por ebullición o hervido, utilizando productos dispersantes, desengrasantes, inhibidores de la fragilidad cáustica y antiespumantes: Como tales, se emplean normalmente productos alcalinos, como carbonato sódico y sosa cáustica, que saponifican las grasas, formando una composición jabonosa que se elimina por purga durante el hervido, así como con chorro de agua al final del mismo.

La cantidad de productos a emplear en el cocido vendrá especificados, por el fabricante de la caldera, pudiéndose indicar, a título informativo, que suele ser del orden de 3 kilogramos por cada 1000 kilos de agua, para el carbonato sódico y la sosa cáustica, cantidades que bajan a 0,4 kilos para el nitrito sódico y el humectante.

Otros de los productos empleados en el hervido son los fosfatos, como el fosfato trisódico y el fosfato disódico, conjuntamente con sosa cáustica y carbonato sódico.

Durante el hervido se deberán tener en cuenta las siguientes medidas:

- Las sustancias químicas serán disueltas en el agua antes de introducirse en la caldera. En ningún caso se añadirán a la misma en forma sólida.
- La adición de las sustancias químicas se realizará por la parte superior del lado agua de la caldera, calderín superior en el caso de calderas acuotubulares.
- Dado que la sosa cáustica libera gran cantidad de calor en contacto con agua, se tomará un volumen grande de agua para efectuarlo.
- Jamás se dejará pasar el agua, conteniendo productos químicos para el hervido, al sobrecalentador de la caldera.
- Dado que se debe operar con materias cáusticas, se utilizarán gafas y guantes, para evitar todo contacto con las mismas.
- El encendido de la caldera será de acuerdo con los procedimientos de arranque de la misma.
- Se deberá extremar el cuidado para mantener el nivel de agua de la caldera de forma visible, durante todo el período de hervido.
- Se dejará abierta la válvula de venteo del calderín hasta que el vapor sople con fuerza, cerrándose a continuación e incrementándose paulatinamente la presión en la caldera. Todos los demás venteos deberán estar cerrados.

- La presión necesaria para el hervido deberá especificarla el fabricante; como regla general, será la adecuada para procurar una circulación completa en toda la caldera y una temperatura en el agua que permita la saponificación total de los aceites presentes en el interior de la caldera.
- Una vez conseguida la presión deseada, habrá que mantenerla un tiempo mínimo, recomendado por el fabricante. Transcurrido dicho período, se apagan los fuegos y se inicia la purga, que se dará por finalizada cuando el agua esté a unos cinco centímetros por encima del punto visible más bajo del nivel.
- Se volverá entonces a llenar la caldera, encendiéndose y repitiéndose todo el proceso anterior otro período de tiempo, recomendado por el fabricante, hasta que todas las trazas de aceite hayan desaparecido en la muestra enfriada de agua tomada de la caldera.
- Durante el hervido se deberá emplear un nivel tubular provisional, en lugar de los niveles ópticos permanentes, para evitar el deterioro de cristales y micas.
- Finalizado el hervido, se dejará que la caldera se enfríe naturalmente y se abrirán todas las purgas cuando la presión alcance los 0,5 kg/cm<sup>2</sup>. El calor residual de la caldera provocará el secado de las superficies internas de la misma.
- Una vez fría la caldera se procederá a la inspección de la misma, debiendo ser eliminada cualquier sedimentación que se observe y comprobar que no hay ninguna adherencia de aceite. Se recomienda efectuar un último lavado con agua a presión.
- Una vez inspeccionada la caldera, se cerrarán las puertas de inspección, no sin antes montar juntas nuevas en las mismas y sustituir el nivel óptico empleado en el hervido. Finalmente se llenará de agua desmineralizada o condensada, quedando preparada para operación normal.

## 5. CONDUCCIÓN DE LA CALDERA

La conducción de la caldera se efectuará en todo momento siguiendo las pautas recomendadas por el fabricante en su libro de instrucciones, no sobrepasando en ningún caso la carga máxima admitida por la caldera. Como normas generales se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Tan pronto se dé la señal de puesta en marcha, se deberá efectuar un barrido o ventilación del espacio total del lado fuego de la caldera, mediante una corriente de aire, con objeto de evacuar la totalidad de los gases combustibles que pudieran haber quedado en el circuito de humos.

- Se evitará el operar el equipo en regímenes excesivamente bajo o alto; en el primero de los casos la combustión puede ser incompleta y en el segundo se puede dañar la caldera.
- Si la caldera utilizara combustibles sólidos, como carbón, etc., alimentado manualmente o mecánicamente en parrillas, se pondrá un ligera capa de combustible en la parrilla, encendiéndose con brasas de esta u otra caldera. No se utilizarán sustancias excesivamente volátiles que puedan producir mezclas explosivas.
- Si se utiliza carbón pulverizado, se comprobará que no están obstruidos ni el flujo de aire ni el conducto de alimentación de combustible al hogar.
- Si se utilizan combustibles líquidos, se examinarán las boquillas y filtros de los quemadores, así como la posible existencia de fugas en la válvula de seccionamiento. Se deberá así mismo comprobar el buen funcionamiento de las bombas de alimentación de combustible. Nunca se intentará encender un quemador con otro que opere cerca, ni mediante acción similar.
- Si se utilizan combustibles gaseosos, antes del encendido se revisará el quemador y se purgará el aire de las conducciones mediante barrido. Los quemadores se encenderán en su régimen mínimo.
- Si la caldera dispone de dispositivos de control de fallo de llama, éstos se habrán probado previamente al encendido.
- Tras un paro prolongado de la caldera, se deberá mantener un fuego bajo, durante una hora aproximadamente, partiendo de la condición de frío, para que el agua entre en ebullición y se establezca un régimen de circulación adecuado en la caldera.
- La presión de vapor se irá aumentando, durante el período marcado por el fabricante, procurando que la temperatura se mantenga uniforme.
- Durante la marcha de la caldera se verificará frecuentemente el buen funcionamiento de los manómetros de la misma, los cuales habrán debido ser probados antes de la puesta en servicio.
- Cuando se produzca un escape en una válvula de seguridad, se anotará la lectura del manómetro y si ésta no coincide con la presión de disparo de la válvula, se investigará la causa.
- Los manómetros se mantendrán bien iluminados y con sus superficies transparentes limpias. La cubierta de cristal ha de estar bien fija, reemplazándola inmediatamente si se rompe.
- Se deberán mantener limpias las conexiones y válvulas entre la caldera, columna de agua e indicadores de nivel.

- Cuando se ponga en servicio una caldera, se purgará la columna de agua a diversos intervalos de presión, para asegurarse de que se sustituye el agua a baja temperatura en las tuberías y columnas, con agua caliente de la caldera y por lo tanto se obtiene una indicación de nivel precisa.
- Se observará que no hay fugas en los indicadores de nivel, ni en sus conexiones, y se mantendrán bien iluminadas y limpias las superficies transparentes de los mismos.
- Los extremos de los tubos de descarga de las columnas de agua, llaves de prueba, etc. deberán mantenerse abiertos y conectados a un punto seguro, de tal forma que el operario pueda oír y ver la purga.
- Las válvulas de seguridad deberán mantenerse libres y en condiciones de trabajo.
- Abrir y cerrar las válvulas de purga y grifos lenta y cuidadosamente. Al cerrar las válvulas de purga, se comprobará que el cierre es correcto y la válvula no tiene fuga.
- Durante la operación de purga se estará observando el indicador de nivel, no efectuándose simultáneamente la purga de más de un caldera.
- La cantidad y frecuencia con que se efectuarán las purgas dependerá del número de horas diarias de servicio de la caldera, régimen de trabajo y calidad del agua utilizada. Se seguirán en todo momento las recomendaciones del fabricante.
- En general se preferirán las purgas continuas; si éstas fueran intermitentes, se realizarán cuando la generación de vapor sea la más baja.
- Si, como consecuencia de la concentración de sales en el agua, se presenta algún problema no usual de espumas, se reducirá el suministro de combustible y aire, se abrirá la aireación del sobrecalefactor si lo hubiere, así como la descarga, y se cerrará la válvula de salida de vapor lo suficiente para determinar el verdadero nivel de agua en el cristal. Se verificará la concentración de sustancias químicas del agua del interior de la caldera y de la alimentación, para comprobar si está contaminada.

Si no se puede corregir la anomalía, se reducirá la carga hasta que el nivel de agua sea relativamente estable o se pondrá la caldera fuera de servicio.

- Cuando se comunique una caldera con otras que formen una línea de vapor con un cabezal común, se tomarán las debidas precauciones, para evitar que en la tubería de comunicación se produzca golpe de ariete y/o gradiente de temperatura excesivo. Estas precauciones consistirán en calentar y drenar adecuadamente dicha tubería, así como el empleo adecuado de válvulas de desviación, by-pass, situadas alrededor del cabezal.

- La purga de los dispositivos de nivel de cristal se efectuará teniendo en cuenta los siguientes puntos, ya que se puede producir la rotura de los cristales y la consiguiente proyección de agua y vapor a alta presión y temperatura:
  - No someterlos a choque térmico.
  - No abrir o cerrar violentamente las válvulas de purga, ya que se pueden producir roturas en los cristales o desplazamientos y choques de boyas, en el caso de interruptores de nivel.
  - No someterlos a un flujo violento de descarga, de agua o vapor; el fluido fluiría rápidamente por el dispositivo lo que provocaría la destrucción de las boyas del interruptor de nivel.
  - Durante las purgas de los indicadores de nivel de cristal, hay que colocarse detrás de protección ante el riesgo de posible ruptura.
- Una regla general en la operación será el mantener el nivel correcto de agua en la caldera, para lo cual se deberá tener en cuenta que:
  - Las fugas de vapor o de agua en la columna de agua o en sus conexiones, provocan que la columna muestre un nivel falso.
  - Se deberán mantener abiertos y libres de obstáculos los extremos de las salidas de las tuberías de drenaje de la columna de agua, indicadores y válvula de purga.
- Como recomendaciones generales en la operación cabe citar:
  - Uso de gafas protectoras siempre que exista el peligro de que polvo o partículas sueltas se introduzcan en los ojos, o cuando se manipulen productos químicos, como por ejemplo en la dosificación química.
  - Uso de guantes cuando se manipulen válvulas, tuberías calientes de quemadores, etc.
  - Siempre que se observen mirillas se utilizarán caretas o gafas coloreadas, ya que los rayos de luz, o partículas, si están los cristales rotos, pueden afectar gravemente a la vista.
  - Cuando se observe el hogar a través de puertas, en el caso de calderas que empleen combustibles sólidos, las pulsaciones del hogar debidas a la combustión, el soplado con vapor y el posible fallo de algún tubo, producen salidas de gases calientes y proyecciones de cenizas, por lo que se utilizarán careta integral, casco, ropa y calzado adecuado.
  - Cuando se empleen combustibles sólidos, no se utilizarán tubos abiertos por sus extremos para desatascar o mover residuos o escorias: Los gases

calientes pueden llegar al operario por el tubo abierto así como recalentar el tubo.

- Las cintas transportadoras, sifines, empujadores, mezcladores, molinos, cadenas de arrastre, etc. deberán estar suficientemente protegidas contra atrapamiento, además de disponer de señal acústica y luz destellante, que pueda ser observada por personal cercano al área. Cada máquina llevará un dispositivo de bloqueo que impida el arranque hasta que el operador de turno no lo desactive.

Nunca se introducirá ningún tipo de barra, durante el funcionamiento de los mismos, para desatascar, distribuir, etc., ya que el efecto palanca puede producir graves lesiones.

- En tolvas de almacenaje de carbón u otros combustibles sólidos, cuando el período de almacenamiento es largo, se pueden producir incendios, razón por la cual se tomarán las medidas adecuadas referentes a sistemas de vaciado, sellado, detectores de calentamiento excesivo, así como el disponer los sistemas de extinción adecuados.
- Cuando se empleen tolvas para el combustible, durante la extracción del mismo se pueden producir bóvedas en su interior y, en el caso de tener que picarlas, se deberán tomar las precauciones adecuadas ya que el material puede descolgarse violentamente.
- Cuando se produzca una fuga en algún circuito de gas-oil, fuel-oil o gas, se cortará la alimentación del mismo y en su caso, se utilizarán los extintores adecuados al tipo de combustible.
- Cuando se tenga la sospecha de la existencia de cualquier fuga de gas empleado como combustible de la caldera, bien en el interior del hogar o en el área de quemadores, se tratará como riesgo de explosión, prohibiendo expresamente el fumar, encender fuego o aproximar cualquier fuente de ignición. Se parará y aislará el quemador de forma segura, y se determinará el origen de la fuga.
- La sala de calderas se mantendrá en condiciones adecuadas de limpieza; téngase en cuenta que, en calderas de combustibles sólidos, la presencia de chispas pueden ser el foco desencadenante de un incendio.

## **6. PRESCRIPCIONES DE SEGURIDAD. NORMAS DE SEGURIDAD Y DE FUNCIONAMIENTO DE CALDERAS**

El Reglamento de Aparatos a Presión establece, a través de sus Instrucciones Técnicas MIE AP1, AP8, AP12 y AP16, una serie de disposiciones de obligado cumplimiento, relativas a la seguridad y funcionamiento a tener en cuenta en las

calderas, distinguiendo entre manuales y automáticas. Dado lo extenso del tema, del que sólo se podría efectuar una transcripción íntegra del texto, remitimos al lector a dichas Instrucciones.

## **7. TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA**

Dada la importancia que tiene una buena calidad del agua de alimentación de la caldera en el buen funcionamiento y seguridad de la misma, se ha querido tratar individualmente dicho aspecto.

El agua presenta en sí misma una serie de impurezas que deberán eliminarse para evitar los efectos que las mismas ejercen sobre la caldera, todo lo cual se recoge genéricamente en la Tabla nº1.

Tabla 1

| <b>Impureza</b>        | <b>Fórmula</b>                                | <b>Forma</b>                        | <b>Efecto</b>   |
|------------------------|---|-------------------------------------|---|
| Dióxido decarbono      | $\text{CO}_2$                                 | Gas                                 | Corrosión   |
| Oxígeno                | $\text{O}_2$                                  | Gas                                 | Corrosión   |
| Materias en suspensión |   | Sólidos no disueltos.<br>(Tubiedad) | Depósitos,<br>espumas y arrastres en vapor  |
| Materia orgánica       |   | Sólidos disueltos y no disueltos    | Depósitos,<br>espumas y arrastres en vapor  |
| Aceite                 |   | Coloidal                            | Depósitos, espuma y arrastres en vapor  |
| Acidez                 | $\text{H}^+$                                  |                                     | Corrosión   |
| Dureza                 | $\text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}$              | Sales disueltas                     | Incrustaciones  |
| Alcalinidad            | $\text{CO}_3, \text{CO}_3\text{H}, \text{OH}$ | Sales disueltas                     | Espumas, arrastres en el vapor, desprendimiento de $\text{CO}_2$ , fragilidad cáusica |
| Salinidad (TSD)        |   | Sales disueltas                     | Depósitos, espumas y arrastres en vapor   |
| Sulfatos               | $\text{SO}_4$                                 | Sales disueltas                     | Aumento salinidad, con $\text{Ca}^{++}$ forma incrustaciones muy duras                |
| Cloruros               | $\text{Cl}^-$                                 | Sales disueltas                     | Aumento sanidad y corrosividad  |
| Sílice                 | $\text{SiO}_2$                                | Sales disueltas, a veces coloidales | Incrustaciones y depósitos sobre turbinas u otros aparatos                            |
| Hierro, Manganese      | $\text{Fe}, \text{Mn}$                        | Sales disueltas o insolubles        | Depósitos   |
| Cobre                  | $\text{Cu}$                                   | Sales disueltas o insolubles        | Depósitos y corrosión   |

Por otra parte, el Reglamento de Aparatos a Presión establece que dicha agua de alimentación deberá cumplir los requisitos establecidos en la norma UNE 9075-85, CALDERAS DE VAPOR-CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.

Según sea el tipo de caldera y de acuerdo con esa Norma se tiene:

- Calderas de tubos de humos:
  - Agua de alimentación. Las características correspondientes al agua de alimentación a la entrada de la caldera figuran en la Tabla nº 2.

Tabla 2

| Presión máxima de servicios p<br>(en Kgf/cm <sup>2</sup> )                    | en MPa<br>(p ≤ 0,5)                   | p ≤ 0,049<br>(p ≤ 0,5)  | p > 0,049 <sup>1)</sup><br>(p > 0,5) |
|---|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Aspecto visual  | Transparente, sin color ni sedimentos |                         |                                      |
| Dureza en mg/litro de CO <sub>3</sub> Ca                                      | ≤ 10                                  | ≤ 10                    | 7,5 a 8,5 <sup>2)</sup>              |
| pH a 20 °C  | 7,5 a 8,5                             | 7,5 a 8,5 <sup>2)</sup> | 7,5 a 8,5 <sup>2)</sup>              |
| Materias orgánicas en mg/litro de Mn O <sub>4</sub> K consumido <sup>3)</sup> | ≤ 10                                  | ≤ 10                    | ≤ 10                                 |
| Aceites y grasas, en mg/litro   | ≤ 10                                  | ≤ 10                    | ≤ 10                                 |

NOTAS:

1) Si p > 1,275 MPa (13 Kgf/cm<sup>2</sup>), deberán evitarse los efectos del oxígeno disuelto.

2) Estos valores podrán modificarse según la naturaleza del agua de alimentación.

3) En caso de alta concentración de materias orgánicas no oxidables con Mn O<sub>4</sub> K y si oxidables con Cr O<sub>3</sub> K<sub>2</sub>, se consultará a un especialista.

- Agua en el interior de la caldera. Las características del agua en el interior de la caldera se indican en la Tabla nº 3.

Tabla 3

| Presión máxima de servicios p<br>(en Kgf/cm <sup>2</sup> ) | en MPa<br>(p ≤ 0,5) | p ≤ 0,049<br>(p ≤ 0,5) | 0,049 < p ≤ 0,275<br>(0,5 < p ≤ 13) | p > 0,275<br>p > 13 |
|--|---------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Salinidad total, en mg/litro                               |                     | ≤ 5.000                | ≤ 6.000 <sup>1)</sup>               | ≤ 4.000             |
| Sólidos en suspensión mg/litro                             |                     | ≤ 300                  | ≤ 300                               | ≤ 250               |
| Alcalinidad total, en mg/litro como CO <sub>3</sub> Ca     |                     | ≤ 1.200                | ≤ 1.400                             | ≤ 800               |
| pH a 20°C  |                     | 10,5 a 12,5            | 10,5 a 12,5                         | 10,5 a 11,5         |
| Fosfatos, en mg/litro de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>     |                     | ≤ 40                   | ≤ 30                                | ≤ 25                |
| Sílice, en mg/litro de Si O <sub>2</sub> <sup>2)</sup>     |                     | ≤ 250                  | ≤ 250                               | ≤ 175 <sup>3)</sup> |

**NOTAS:**

1) Los valores que se citan serán para calderas con un régimen de trabajo inferior a 35 Kg de vapor hora por m<sup>2</sup> de superficie de calefacción.

Para producciones específicas de vapor mayores a las indicadas, ajustarse a la especificación prevista para las calderas con presión de servicio superior a 1,275 MPa (13Kgf/cm<sup>2</sup>)

2) Las concentraciones de sílice en el agua de la caldera guardarán la relación:

$$\frac{\text{SiO}_2 \text{ (mg/litro)}}{m \text{ (alcalinidad total)}} < 12,5$$

3) En aquellos casos en que existe sobrecalentador, se limitará a 100 mg/litro para p < 1,96 MPa (20 Kgf/cm<sup>2</sup>) y a 75 mg/litro para p > 1,96 MPa.

- Calderas acuotubulares:

Para fijar los valores límites del agua de alimentación disponible normalmente se utilizará la Tabla nº 4, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Características del agua de alimentación disponible normalmente, que en ningún caso serán más desfavorables que las que figuran en la anterior Tabla nº 2 para presiones superiores a 0,049 MPa (0,5 kgf/cm<sup>2</sup>).
- Consecuencias de la salinidad en el vapor de la caldera y en otras partes de la instalación.
- Características generales del vapor suministrado según el tipo de calde-

ra: En las presiones más elevadas, los límites tolerados serán menores, reflejando así una mejor calidad en el vapor.

- Para calderas de circulación forzada, la calidad del vapor dependerá esencialmente de la pureza del agua de alimentación.

Tabla 4

| PRESION<br>MPa<br>(Kgf/cm <sup>2</sup> ) aprox.)            | Salinidad<br>en<br>caldera <sup>1)</sup><br>mg/litro<br>(máx) | Alcalinidad<br>total <sup>2)</sup><br>mg/litro<br>(máx) | Sólidos en<br>suspensión<br>mg/litro<br>(máx) | pH<br>a 20 °C | Fosfatos<br>mg/litro<br>de<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(máx) | Sílice <sup>2)</sup><br>mg/litro<br>SiO <sub>2</sub><br>(máx) |
|---|---|---|---|---------------|--|---|
| Calderas de circulación natural y asistida                  |   |   |   |               |  |   |
| ≤ 1,96  | ≤ 20  | 3.500   | 700   | 150           | 25   | 140   |
| 2,06 a 3,14   | 21 a 32   | 3.000   | 600   | 100           | 25   | 50  |
| 3,24 a 3,92   | 33 a 40   | 2.500   | 500   | 80            | 10   | 50  |
| 4,02 a 5,20   | 41 a 53   | 2.000   | 400   | 60            | 9,5 a 11   | 50  |
| 5,29 a 6,28   | 54 a 64   | 1.500   | 300   | 40            | 10   | 10  |
| 6,37 a 6,86   | 65 a 70   | 1.250   | 250   | 20            | 3  | 10  |
| 6,96 a 3,14   | 71 a 136  | 100   | 100   | 10            |  |   |
| 12,45 a 3,92  | 127 a 165   | 50  | 40  | ausencia      |  |   |
| 16,27 a 5,20  | 166 a 180   | 25  | 10  | ausencia      | 9,5 a 10,5   | 3   |
| 17,74 a 6,28  | 181 a 203   | 15  | 2   | ausencia      |  | 4   |
| Calderas de circulación forzada                             |   |   |   |               |  |   |
| ≥ 9,60  | ≥ 98  | 0,05  | ausencia                                      | ausencia      | 9,5 a 10,5   | 3   |
| Calderas de vaporización instantánea de circulación forzada |   |   |   |               |  |   |
| < 1,96  | < 20  | 2.000   | 400   | 100           | -  | 140   |
| 1,96 a 3,92   | 20 a 40   | 1.000   | 200   | 50            | -  | 50  |

**NOTAS:**

1) Los valores reales hasta este límite dependerán de la salinidad del agua de alimentación y de la calidad del vapor deseado.

2) Los valores reales serán directamente proporcionales a los valores de salinidad del agua dentro de la caldera.

3) Estos valores se ajustarán en función de la calidad del vapor.

El tratamiento que debe darse al agua de alimentación de la caldera dependerá de las exigencias de calidad en la misma, de la relación entre condensado/agua de alimentación, características del agua bruta y naturalmente de la economía del tratamiento. De forma genérica se puede indicar que el tratamiento a seguir para dicha agua puede comprender:

- Eliminación de Ca++ y Mn++, que puede ser por descarbonatación y ablandamiento o bien una desmineralización total, según la caldera sea de baja y media presión o de alta presión.
- Acondicionamiento del pH del agua, con sosa, fosfato trisódico,etc.
- Desgasificación o eliminación de gases disueltos, que puede ser una desgasificación térmica, basada en que la solubilidad de un gas disuelto, que no reacciona con el agua, disminuye a medida que la temperatura del agua se eleva. La desgasificación química se basa en emplear sustancias fuertemente oxidantes, como por ejemplo el bióxido de azufre, bisulfito sódico, etc., que se añaden al agua de la caldera.

## **XXXII**

### **MANTEINIMIENTO DE CALDERAS**

El mantenimiento de una caldera es uno de los puentes básicos de su buen funcionamiento y por lo tanto de la seguridad en operación. Las operaciones de mantenimiento a realizar vendrán determinadas por el fabricante de la misma, el cual, y según se especifica en el vigente Reglamento de Aparatos a Presión, está obligado a entregar al usuario de la caldera un Cuaderno de Instrucciones, en el cual figurarán las operaciones de mantenimiento necesarias y la cadencia con que deben realizarse.

Dentro de dichas operaciones deberán figurar:

- Comprobación de la alineación de la caldera, asentamientos, desniveles o movimientos anormales, que se evidencia por desplazamientos de alguna de las partes a presión.
- Corrosión en calderines y tubos.
- Fugas en tuberías, válvulas, envolvente o chimenea.
- Estado de las válvulas de seguridad y sus conexiones.
- Estado de los indicadores de nivel, grifos y columnas de agua, controles, alarmas por bajo nivel, válvulas de alimentación y retención.
- Estado de los sopladores de hollín, así como la ausencia de corrosiones en los tubos de la caldera donde descargan.
- Estado de la solera y elementos de soporte de la caldera.

- Ausencia de fragilización cáustica en juntas y uniones de tubos.
- En calderas pirotubulares, se examinará el estado de los tubos y de las placas tubulares, así como la posible deformación del hogar.
- En calderas acuotubulares, los tubos perforados o rotos, procediéndose en su caso a su cegado hasta una reparación de los mismos.
- Presencia de depósitos y/o incrustaciones en las distintas partes de la caldera.

Como operaciones periódicas a realizar y siempre que no interfiera con lo indicado por el fabricante de la caldera, se efectuará:

- Diariamente:
  - Purga de la caldera, cada cuatro horas.
  - Purga de botellines y niveles, cada cuatro horas.
  - Limpieza de la boquilla y copa del quemador.
  - Purga del manómetro.
- Semanalmente:
  - Poner en funcionamiento el segundo sistema de alimentación para mantenerlo en buenas condiciones de funcionamiento.
  - Disparar manualmente las válvulas de seguridad.
  - Limpiar el filtro de agua.
  - Limpiar el filtro de combustibles sólidos.
  - Comprobar tensión de las correas de ventiladores y quemadores.
  - Comprobar el buen funcionamiento del tratamiento de agua de alimentación de la caldera.
  - Comprobar el regulado de la llama para evitar la incidencia de forma perjudicial sobre alguna zona de la caldera.
- Anualmente:

Se efectuará un detenido examen de todo el aparato, abierto y con sus partes metálicas limpias, en el que se incluirá la medición de espesores, existencia de corrosiones o desgastes anormales. Así mismo, se comprobará que los órganos de seguridad u automatismos se encuentran en perfectas condiciones.

## 1. MEDIDAS PREVENTIVAS A TENER EN CUENTA DURANTE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

Dado que las operaciones de mantenimiento pueden requerir, según sea el tamaño de la caldera, penetrar en su interior, será necesario:

- Cerciorarse antes de entrar en la caldera de que se ha enfriado suficientemente.
- En el caso de calderas que utilizan combustible sólido, tener cuidado especial en que se enfrién las acumulaciones de hollín y escorias. No se inyectará agua por debajo de la superficie de un depósito grande de hollín o escorias, ya que su interior puede permanecer incandescente durante mucho tiempo y al contacto con agua producir una explosión.

Así mismo, se quemará desde el exterior toda escoria suspendida o cenizas acumuladas, antes de penetrar en el hogar.

- No penetrar en el interior de calderines y demás recipientes, hasta que todas las válvulas de vapor y agua, incluyendo las de drenaje y purga, han sido cerradas y enclavadas. Téngase en cuenta que el agua caliente y el vapor pueden retornar a través de tuberías de drenaje y purga, especialmente cuando más de una caldera o recipiente evacúa en el mismo tanque de drenaje o purga.

La obtención de un “Permiso de Trabajo” será la forma más adecuada de penetrar en el interior de dichos elementos.

- No penetrar en el interior de una caldera sin antes haber efectuado una ventilación adecuada y haber realizado un análisis de la atmósfera de su interior. Téngase en cuenta la posible presencia de gases peligrosos y vapores de combustibles.
- Obtener un “Permiso de Trabajo”, que será indispensable para penetrar en calderines y otros recipientes, en los cuales las válvulas de venteo estén conectadas a un sistema de inertización, con nitrógeno por ejemplo. Hay que tener en cuenta la posible existencia de gas inerte, del cual basta una sola aspiración para perder el sentido y muy pocos minutos para que aparezca la muerte por asfixia. Se deberá ventilar adecuadamente el recinto y realizar un análisis de la atmósfera de su interior. Los operarios que deban penetrar en su interior deberán poseer analizadores de oxígeno individuales, los cuales dispondrán de alarma.
- En todo trabajo que comporte el acceso al interior de una caldera, que el operario esté unido al exterior mediante un arnés y cable extractor que faci-

lito ser sacado rápidamente. Así mismo se deberá situar en el exterior otro operario, con instrucciones concisas y suficientemente entrenado para que actúe en caso de emergencia, empleando equipos autónomos de respiración cuando así se requiera.

- Durante la penetración en hogares, ciclones, etc., se pueden desprender trozos de cenizas u otros materiales, incluso trozos del material de la caldera como tubos. Por ello hay que asegurarse sobre dicho riesgo, bien por limpieza de la zona o por protección adecuada.
- Antes de entrar en la caldera, retirar los pulverizadores de los combustibles líquidos, o en el caso de utilizar combustible gaseoso, precintar la conexión del mismo o desconectar una sección de tubería.
- Si se utiliza una extensión eléctrica para la iluminación del interior de la caldera o accionamiento de maquinaria, emplear tensión de seguridad de 24 voltios y situar la toma de la alimentación fuera de la caldera.
- Que esté generada fuera de la caldera la energía necesaria para la operación de herramientas y limpiadores que se utilicen. Si dichas herramientas están accionadas por agua, aire comprimido o vapor de agua, se operará a la mínima presión necesaria para realizar el trabajo. Téngase en cuenta los efectos que el insuflado de vapor o aire comprimido pueda tener sobre las personas que trabajen en el interior de la caldera, entre los cuales está el ruido que puede ocasionar la salida de dichos elementos y frente al cual deberán tener las protecciones adecuadas.
- Al realizar la limpieza de filtros, tener en cuenta la correcta posición de las válvulas de incomunicación, esperando a que se enfrién y despresurizando antes de abrir las tapas. Se utilizarán gafas y guantes.
- Proteger al operario adecuadamente contra el agua caliente de tambores y colectores al quitar las tapas y los registros de mano.
- No abrir ni penetrar en un equipo giratorio, como ventiladores, recuperadores, etc., hasta que no se haya detenido por completo y el interruptor de alimentación eléctrica haya sido enclavado en la posición de abierto. Cuando se puedan poner en movimiento con muy pequeño esfuerzo, deberá enclavarse con un freno o dispositivo adecuado.
- Nombrar a un responsable de mantenimiento encargado de llevar el control de las operaciones, así como personas con conocimientos y experiencia adecuada en la realización de las tareas encomendadas.
- Establecer un plan periódico de mantenimiento de acuerdo con las recomendaciones efectuadas por el fabricante del equipo y se emplearán los repuestos originales, así mismo recomendados.

## 2. CONSERVACIÓN DE LA CALDERA DURANTE LA PARADA DE LA MISMA: CONSERVACIÓN HÚMEDA Y SECA

Durante el período de vida de una caldera, puede ser necesario el conservarla parada durante determinados períodos de tiempo, conservación que puede ser por vía húmeda o por vía seca. En ambos casos, una vez puesta fuera de servicio y enfriada, se vaciará y lavará, realizándose una inspección para determinar los posibles trabajos de reparación necesarios.

- Conservación por vía húmeda: Esta conservación es recomendable cuando se prevea un período de parada corto o cuando se considere probable que tenga que volverse a poner en servicio repentinamente, no siendo utilizable para recalentadores o cuando el lugar de instalación de la caldera esté expuesto a temperaturas bajo cero.

Una vez vacía y limpia la caldera, se cierra y se deja fluir el agua a través del sobrecalentador, llenándose a tope. El agua procederá de condensado o habrá sido tratada químicamente al objeto de reducir al mínimo las posibilidades de corrosión durante la parada, en la que se mantendrá a una presión algo mayor que la atmosférica.

- Conservación seca: Se emplea cuando se prevé un largo período fuera de servicio o las condiciones atmosféricas, por frío, no permiten la conservación húmeda.

Una vez limpia la caldera, se deberá secar perfectamente, ya que cualquier humedad podría provocar la corrosión, y se tomarán las medidas adecuadas que impidan la entrada de cualquier forma de humedad a través de líneas, como las de vapor.

Se colocarán, en el interior de calderines, etc., recipientes con materias absorbentes de humedad, cal viva o gel de sílice, en cantidad adecuada al volumen a proteger y se sellarán todas las entradas.

Periódicamente se inspeccionará el interior de la caldera a fin de comprobar la efectividad de los desecantes y la necesidad de renovarlos.



## **XXXIII**

### **FORMACIÓN E INFORMACIÓN DEL OPERADOR DE LA CALDERA**

- Las personas encargadas de vigilar, supervisar, conducir y mantener cualquier caldera, deberán ser instruidas adecuadamente en el funcionamiento de la misma, e informada de los peligros que puede ocasionar una falsa maniobra, una mala conducción y un mal mantenimiento.
- Al objeto de determinar la necesidad de que el conductor de una caldera deba estar en posesión del “Carné de Operador Industrial de Caldera”, expedido por la Administración, se calculará el producto **P x V**, donde:
  - **V** es:
    - a) El volumen, en  $m^3$ , de agua a nivel medio para calderas con nivel definido.
    - b) El volumen, en  $m^3$ , de todas las partes a presión, para calderas sin nivel definido.
  - En ambos casos se excluirán los volúmenes de los economizadores, precalentadores de agua a presión y recalentador de vapor, si los hubiere.
- **P** es:
  - a) La presión efectiva máxima de servicio de la instalación,  $Kg/cm^2$ , para calderas de vapor, economizador, precalentador y recalentador.
  - b) Para calderas de agua caliente, agua sobrecalentada y de fluido térmico, la presión total máxima de servicio, que se compondrá de la presión

debida a la altura geométrica del líquido, de la tensión de vapor del portador térmico a la temperatura máxima de servicio y la presión dinámica producida por la bomba de circulación.

Calculado dicho producto P x V, si resultara ser mayor que 50, será obligatorio para el conductor de la caldera la posesión del mencionado carné. Si por el contrario fuese igual o inferior a 50, el operador será instruido en la conducción de la caldera por el fabricante, instalador, o por el usuario si dispone de técnico competente, debiendo figurar el nombre del operador en el Libro de Registro del Usuario.

- El conductor de la caldera tiene la obligación de anotar diariamente las operaciones efectuadas para el control de las seguridades de la caldera y la hora en que tuvo lugar, en el Libro del Usuario.
- El conductor de la caldera deberá contar en la sala de calderas, fijas y bien visibles, con las principales instrucciones de empleo del conjunto caldera-quemador, con indicación específica del combustible a emplear.
- Deberán así mismo disponer, en la Sala de Calderas, de:
  - Manual de Instrucciones de la Caldera.
  - Manual de Instrucciones del Equipo de Combustión.
  - Manual de Instrucciones del Tratamiento de Agua.
  - Datos obtenidos en el Protocolo de Puesta en Marcha.
  - Dirección del Servicio Técnico competente más cercano.
  - Dirección del Servicio Contra Incendios más próximo.
- Será obligación del conductor de la caldera comunicar inmediatamente, al responsable de mantenimiento, cualquier defecto que aparezca en la caldera, debiendo apagarla inmediatamente si dicho defecto es alguno de los indicados a continuación:
  - Las paredes de la caldera y sus superficie de calefacción empiezan a deformarse o es evidente alguna deformación en algún punto.
  - Aparece una gran pérdida de agua.
  - En el caso de fallo de los mecanismos de alimentación, permaneciendo estos operables, no es posible el suministro de la cantidad de agua necesaria.
  - Las válvulas de seguridad no actúan a la presión adecuada.

Aparecen grietas y/o roturas en la obra refractaria en las zonas del hogar o en otras zonas protegidas del fuego, así como si aparece vapor o humedad en la zona de obra refractaria.

- Se observen defectos en los tubos, en la unión de los tubos a la placa tubular, así como si aparecen fisuras en las chapas de las partes sometidas a presión.
- Los conductores de calderas deberán mantener el orden y limpieza adecuados en la sala de calderas, no almacenando en ellas elementos o materias extrañas al uso y funcionamiento de la caldera.

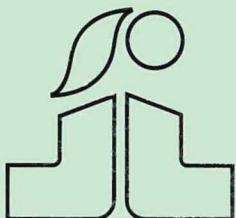


# **BIBLIOGRAFÍA**



- **Reglamento de Aparatos a Presión, 1979, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.**
- **Normas UNE. nº 9001-87 1R,9004-86 2R, 9075-85 2R, 9106-85, 9112-88.**
- SPRING/KOHAN.  
**Boiler Operator's Guide.**  
*Mc Graw-Hill Book Company, 1981.*
- **Manual de Seguridad de Calderas.**  
*Babcock Wilcox Española S.A.*
- **Cursillo Teórico Práctico de Técnicos de Mantenimiento y Operadores de Calderas.**  
*Prodinco S.A., 1985.*
- **Manual de Calderas serie Package, modelo Ag-5100.**  
*Generadores de Vapor Foster Wheeler S.A.*
- MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA.  
**Manual de Operadores Industriales de Calderas, Conocimientos básicos para la obtención del Carné de Operador de Calderas, 1986.**
- NATIONAL SAFETY COUNCIL.  
**Accident Prevention Manual for Industrial Operations, 1974.**
- **Incidents de Chaudières de Petites et Moyennes Puisances.**  
*Revue APAVE, 1984.*





MINISTERIO DE TRABAJO  
Y ASUNTOS SOCIALES