



ALBERT SOLER CARBONELL
*Ingeniero técnico-químico
FREMAP. Mútua de Accidents
de Trabajo y Enfermedades
Profesionales de la Seguridad Social*

Aspectos de seguridad en el mantenimiento de calderas

SUMARIO

El riesgo de explosión de un generador de vapor debe ser eliminado a través de un buen diseño, construcción correcta, órganos de regulación y control adecuados, así como un mantenimiento preventivo. Este mantenimiento nos garantizará la seguridad en el equipo a través del control de una serie de parámetros que detectarán desviaciones peligrosas de las condiciones óptimas de funcionamiento.

Palabras clave: Calderas de vapor, generadores de vapor, mantenimiento, aparatos a presión.

INTRODUCCION

El empleo de fluidos a presión es un hecho cada vez más frecuente en numerosas actividades humanas y en muchos procesos industriales.

Uno de los equipos que generan fluidos a presión son las calderas. En una caldera se transforma una fuente de energía en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La liberación de esta energía de manera violenta, a través de una ex-

plósion, constituye el mayor riesgo de estos equipos, puesto que los efectos de la onda expansiva pueden afectar gravemente a las personas y/o bienes.

Para evitar la actualización de este riesgo existe un conjunto de medidas de seguridad, cuyo exacto cumplimiento nos permitirá obtener un grado de seguridad aceptable en nuestras calderas.

Estas medidas de seguridad están encaminadas a eliminar las posibles causas de accidentes. Tal como se puede observar en la Fig. 1, estas causas se dividen en tres grandes grupos.

La causa principal de accidentes en calderas y recipientes a presión es un diseño y construcción inadecuados, representando casi un 70 por 100 del total de las causas.

La actuación del usuario frente a esta causa de accidentabilidad queda limitada al momento de adquisición de la caldera. En ese momento se debe exigir el equipo adecuado al uso a que va a someterse, solicitando el expediente de control de calidad. En este expediente se reflejará entre otras cosas, el resultado de los controles e inspecciones a que se ha sometido la caldera, dándonos una garantía de su correcto diseño y construcción.

En las otras dos causas de accidentes, que representan aproximadamente un 30 por 100 del total de los mismos, tiene una importancia fundamental la actuación del usuario de calderas. Por una parte, vemos que la operación y la manipulación incorrectas realizadas por el operario que se halla al frente de una caldera puede llegar a producir un accidente, el cual se solventaría, en cierto modo, mediante una correcta formación del operario. Esta formación se recoge en la normativa legal vigente, al exigir la obtención del carnet de operadores de calderas.

Por último, un mantenimiento e inspecciones adecuadas pueden eliminar el riesgo de accidentes. Como se observa en la figura 1, un 16 por 100 de las causas de los accidentes son producidos por fallos en el mantenimiento.

Mediante este artículo pretendemos estudiar las condiciones que debe reunir un correcto mantenimiento. Para ello, evaluaremos las características que debe reunir el agua que utilizamos en los generadores de vapor, puesto que unas características inadecuadas son fuente de incrustaciones y corrosiones.

También nos haremos eco de las características necesarias para efec-

FIGURA 1. Causas de accidentes en calderas y recipientes a presión.



tuar una combustión correcta. Si ésta es incompleta o con combustibles de determinadas características, tendremos, por una parte, una disminución en el rendimiento de nuestro equipo, así como la posibilidad de aparición de corrosiones en la zona de humos.

Por último, estudiaremos la forma de averiguar si el mantenimiento que efectuamos es el apropiado o no: las revisiones e inspecciones periódicas.

INCRUSTACIONES EN EL LADO AGUA

Uno de los problemas importantes con que nos encontramos en los generadores de vapor son las incrustaciones que se forman en el lado agua de la caldera. Estas incrustaciones se forman a partir de las sustancias en suspensión y disueltas que lleva el agua.

Algunas de estas sustancias (el oxígeno, el anhídrido carbónico, etc.) producen la corrosión del acero, problemática que se estudiará posteriormente.

Otras de las sustancias presentes en el agua, como el bicarbonato cálcico, se descomponen por el efecto de la temperatura, precipitando en forma de carbonato. Los sulfatos cálcicos alcanzan la concentración de saturación y también precipitan.

Este precipitado, con sus propiedades adherentes, se fija en las superficies de transmisión del calor de la caldera, dificultando la misma.

Para mantener la velocidad específica de transmisión de calor, definida por la expresión:

$$\frac{Q}{A} = U \cdot \Delta t$$

sólo podemos aumentar la temperatura forzando la combustión. El calentamiento provocado por forzar las condiciones de combustión provoca

la no carburización de la matriz de acero, disminuyendo su resistencia como consecuencia de la menor característica mecánica de la ferrita respecto a la cementita.

Consecuencia de esta fragilización de la matriz metálica es la fisuración por falta de características de ductibilidad, pudiéndose llegar a la rotura de una parte sometida a presión y, por consiguiente, a una explosión.

Así, pues, para disponer de un correcto mantenimiento es necesario disponer de un adecuado tratamiento del agua de alimentación, cuyo objetivo principal será la eliminación de la posibilidad de formación de incrustaciones.

Este tratamiento debe lograr eliminar todas las sustancias perjudiciales para el normal funcionamiento del generador de vapor, consistiendo el tratamiento en:

- La eliminación de las materias en suspensión.
- La eliminación de las materias disueltas.
- La eliminación de los gases disueltos.

El primer caso, —la eliminación de las materias en suspensión— se conseguirá a través de la filtración, coagulación, floculación y decantación del agua, consiguiendo con este proceso retener las partículas de tamaño superior a 0,9-1,2 mm.

La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas —por la disminución de las fuerzas que tienden a mantenerlas separadas, disminución provocada por la acción de un coagulante.

La floculación es el paso posterior, en el que se consigue la formación de partículas de tamaño sedimentable, debido a la formación de puentes químicos o enlaces físicos.

Las sustancias coagulantes empleadas comúnmente son el sulfato de alúmina, el policloruro de aluminio,

el aluminato sódico, el sulfato ferroso, el sulfato férrico, el cloruro férrico, etc.

Posteriormente a la coagulación-floculación se procede a una decantación como medio de eliminación de las partículas sedimentables formadas.

En una segunda etapa es muy importante eliminar las materias disueltas en el agua. Estas materias disueltas forman lo que se denomina la dureza del agua: un agua dura contiene gran cantidad de sustancias disueltas, y por contra, un agua poco dura o blanda, contiene poca cantidad.

Esta dureza total se divide en temporal y permanente.

La primera está formada básicamente por bicarbonatos de calcio y magnesio, que se descomponen por la simple acción del calor. Esta descomposición forma un carbonato prácticamente insoluble, que elimina una parte del catión Ca^{++} o Mg^{++} , respectivamente.

La dureza permanente está formada por las sales (cloruros, sulfuros, etc.), que no se eliminan por la acción térmica.

Esta dureza es la causante de la formación de la costra de carácter pétreo, que dificulta la transmisión del calor, con la problemática que ya se ha indicado.

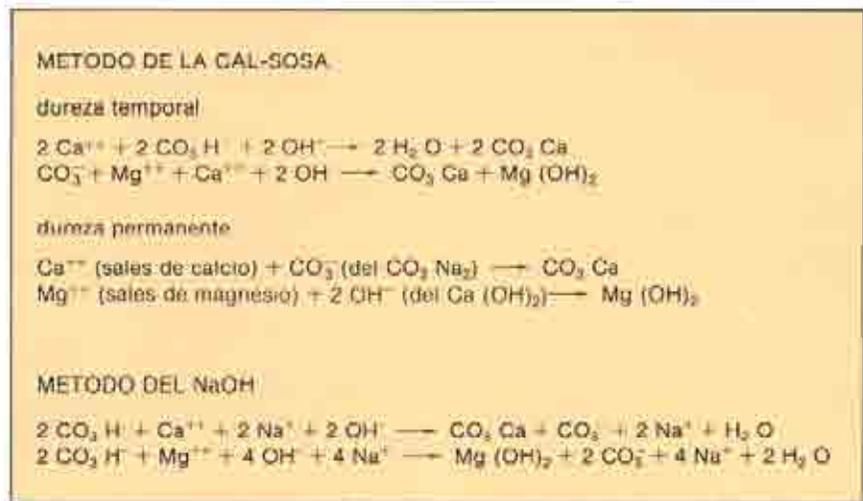
Para eliminar la problemática que nos supone el disponer de un agua dura, existen diversos métodos de ablandamiento del agua. Los métodos químicos (de la cal-sosa, de la sosa cáustica, de la sosa, del carbonato bórico, del fosfato sódico, etc.) se fundamentan en la adición de una sustancia química que provoque la precipitación de los iones cálcicos y magnésicos, así como su posterior eliminación (Fig. 2).

Un método muy utilizado para la eliminación de la dureza del agua es el que se fundamenta en el intercambio iónico, consistente en sustituir los iones de una disolución por otros del denominado ion-cambiator. A principios de siglo empezó a utilizarse este procedimiento mediante las zeolitas naturales o artificiales (permutitas). Posteriormente se introdujo el uso de las resinas como sustancias ion-cambiatoras, que resisten medios más variados que las zeolitas.

Este procedimiento de tratamiento del agua nos permite la obtención de la misma, totalmente desmineralizada.

Los intercambiadores de iones en que se basa este método se pueden clasificar en catiónicos y aniónicos, en función del tipo de ion que retie-

FIGURA 2. Métodos químicos de eliminación de la dureza.



nen (Fig. 3). Los intercambiadores de cationes, denominados catiónicos, se clasifican en:

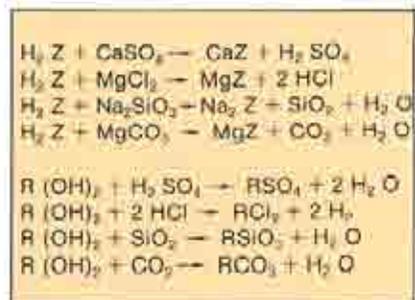
- Catiónico fuerte o fuertemente ácidos: son los que retienen todos los cationes.
- Catiónico débil o carboxílico: retienen los carbonatos y bicarbonatos.

Asimismo, los intercambiadores aniónicos los podemos clasificar en:

- Fuertemente básicos: retienen a todos los aniones.
- Débilmente básicos: sólo retienen los aniones fuertes (SO_4 , Cl , NO_3 , etc.).

Según las características del agua y al uso a que va destinada, se utiliza un simple aparato con lechos mezclados, que contiene, a la vez, las resinas aniónicas y catiónicas fuertes, o se utiliza una cadena de aparatos, que comprende una serie de intercambiadores de cationes y aniones, y un desgasificador para eliminar el CO_2 y el O_2 , así como un aparato de seguridad, de lechos mezclados, para eliminar las trazas de cationes y aniones residuales (Fig. 4).

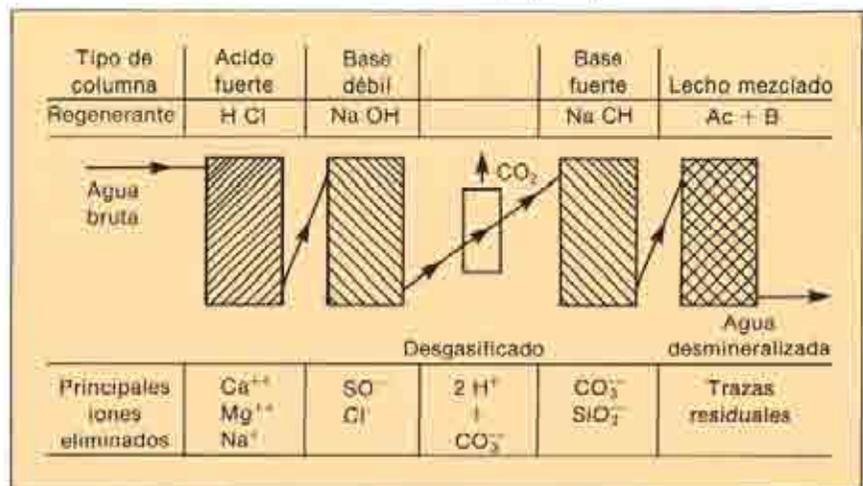
FIGURA 3. Reacciones de intercambio de iones.



CORROSIÓN EN EL LADO AGUA

Una de las posibles causas de accidentes en los generadores de vapor consiste en la rotura de las partes

FIGURA 4. Instalación de intercambio de iones (esquema).



Es imprescindible disponer de un adecuado tratamiento del agua de alimentación, cuyo objetivo principal será la eliminación de toda posibilidad de formación de incrustaciones.

sometidas a presión, con la posibilidad de que la mencionada rotura provoque una explosión.

Esta rotura puede obedecer a un debilitamiento de las chapas o de los tubos de la caldera, debido a la corrosión. La presencia de agua necesaria para la producción del vapor produce la corrosión, aun sin la presencia del oxígeno disuelto.

No obstante, esta corrosión, en determinadas formas, puede ser beneficiosa; puede detenerse por sí sola, impidiendo un ataque más severo.

En ausencia de oxígeno y a temperaturas superiores a 50 °C se forma la magnética (Fe₃O₄, por la reacción:



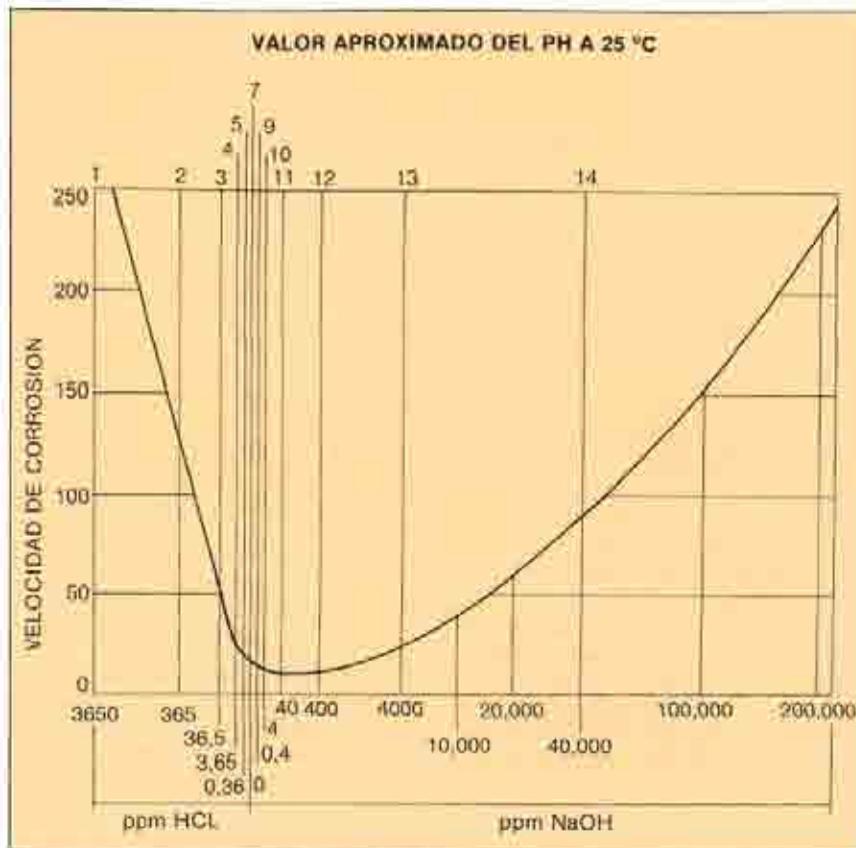
Proporcionándonos una película compacta y adherente, que presenta una propiedad esencial: frena un posterior ataque de la corrosión, formando, en definitiva, una capa protectora.

Así pues, la formación correcta de esta capa es de importancia. Por ello, antes de entrar en servicio, una instalación nueva ha de limpiarse completamente, con el fin de eliminar las grasas y otras sustancias que pudieran resultar de las operaciones de fabricación y montaje.

Deben evitarse, a la capa de magnetita, toda las condiciones fuertemente agresivas, como, por ejemplo, las paradas o puestas en marcha bruscas, las variaciones repentinas de presión y de pH.

La máxima protección del acero se consigue con un pH entre 9 y 12 (Fig. 5), correspondientes a niveles de NaOH entre 0,4 y 400 ppm en solución. Medios ácidos o fuertemente

FIGURA 5. Efecto del pH en la velocidad de corrosión de un acero.



alcalinos disuelven la magnetita, causando así la corrosión del acero.

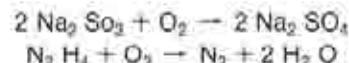
Esta formación de magnetita se ha realizado en ausencia de oxígeno. Si tuviéramos este gas disuelto en el agua, el producto final no sería la magnetita, sino el Fe(OH)₃.

Esta masa porosa de herrumbre no protectora tiende a socavarse por el óxido férrico hidratado, formando fisuras y discontinuidades. Este depósito de masa porosa puede causar, en aguas con oxígeno, el funcionamiento de pilas de aireación diferencial, provocándose entonces la corrosión localizada: corrosión por picaduras (*pitting*).

Así pues, es necesario que en el tratamiento del agua de alimentación se tenga presente la eliminación del oxígeno, que nos provocaría corrosiones por picaduras, y la eliminación del CO₂, por la posibilidad de formación de ácido carbónico inestable, variando el pH de la disolución (corrosión ácida) y pudiéndose originar incrustaciones calcáreas (recuérdese que ya en el apartado anterior incluimos la necesidad de una desgasificación en el proceso de tratamiento del agua).

Esta desgasificación puede ser química, adicionando al agua de alimen-

tación, reductores y neutralizantes. Por ejemplo, la eliminación química del oxígeno se efectúa mediante la incorporación al agua de reactivos secuestrantes, tales como el sulfito sódico y la hidracina:



Otro sistema es la denominada desgasificación térmica, fundamentándose en que la solubilidad de un gas es función decreciente de la temperatura.

Así, el agua de alimentación del generador de vapor y la procedente de la recuperación de condensados se introduce por la parte superior de un desgasificador. Por la parte inferior se introduce vapor de la misma caldera, el cual ha sido sometido a una reducción de presión.

En el interior del desgasificador se establece una corriente de vapor y oxígeno desprendido en sentido ascendente, y una corriente, en forma de lluvia, descendente que es el agua a desgasificar.

Hasta ahora hemos procurado la correcta formación de la capa de magnetita. No obstante, existen diversos factores, —físicos y quími-

cos— que pueden darnos lugar a corrosiones en la caldera. Algunos de estos factores son:

Cloruros

Son los productores de depósitos multilaminares de magnetita, como los que encontramos en las picaduras.

Hidróxido sódico

El hidróxido sódico puede disolvernos la magnetita. Además, si ésta se concentra en juntas, resquicios, etc., donde exista una fuerte transmisión del calor, puede aumentar la concentración del NaOH, siendo en estos casos peligrosa por la conjunción de posibles tensiones locales, apareciendo lo que se denomina «fragilidad cáustica», consistente en un agrietamiento intergranular por corrosión bajo tensiones.

Efectos térmicos

Las variaciones rápidas de temperatura pueden dar lugar a la rotura de la capa de magnetita que se nos ha formado. Esta rotura es consecuencia de la diferencia existente entre los coeficientes de dilatación de la propia magnetita del acero.

Corrosión termogalvánica

La diferencia de temperaturas entre una pequeña zona caliente y una zona fría que envuelva a la primera puede dar lugar a una corrosión termogalvánica, produciendo un proceso de picadura.

Soldaduras y defectos de los tubos

Puede producirse corrosión en las soldaduras y otros defectos en los tubos si las diferencias de potencial son suficientes para provocar el proceso de picadura.

Fragilización por hidrógeno

Es posible que el hidrógeno que se forma con la magnetita difunda hacia el interior del acero, reaccionando con el carbono para formar metano. Este, por tener un volumen considerable, no abandona al acero por difusión, provocando tensiones capaces de fisurar al material.

CORROSION EN LADO HUMOS

Una de las causas de averías y/o accidentes en los generadores de vapor es la corrosión que se produce en la zona de humos.

Esta corrosión es debida a la composición del combustible que utilizamos. Generalmente, dicho combustible es un producto derivado del proceso de refinado del petróleo (fuel-oil), lo que implica unas características químicas complejas y variables.

A pesar de estas diferencias entre las características químicas, el combustible estará formado por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, así como, en menores proporciones, por otros elementos, como puede ser el azufre.

Este azufre es el causante primordial de la aparición de corrosiones en el lado del humo de nuestra caldera, debido a un proceso de oxidación del mencionado elemento. En esta oxidación, el azufre se transforma en SO_2 , que a su vez pasa a SO_3 , pudiéndose condensar en forma de ácido sulfúrico sobre superficies que tengan una temperatura inferior al punto de rocío.

Así pues, nos interesará que los gases de la combustión no tengan nunca una temperatura inferior a la del punto de rocío. Pero no tan sólo los humos deben tener esta temperatura, sino que también las partes que entren en contacto con ellos antes de salir a la atmósfera.

También nos interesa que la tem-

La gravedad que comporta un accidente en un generador de vapor hace necesario adoptar una serie de medidas encaminadas a garantizar la seguridad de estos equipos.

peratura de la llama sea alta, para disminuir la formación de SO_2 . En efecto, tal como nos muestra la Fig. 6, la velocidad de oxidación del SO_2 a SO_3 desciende rápidamente a partir de los 800 °C, lo que nos indica que en una combustión rápida la transformación será mínima.

Otros procedimientos para evitar los efectos del SO_2 se fundamentan en la eliminación del mismo (Fig. 7). Estos procedimientos pueden ser: absorción por sulfitos, óxido de magnesio, sal fundida, dióxido de man-

FIGURA 6. Curva de equilibrio $SO_2 + O \rightleftharpoons SO_3$.

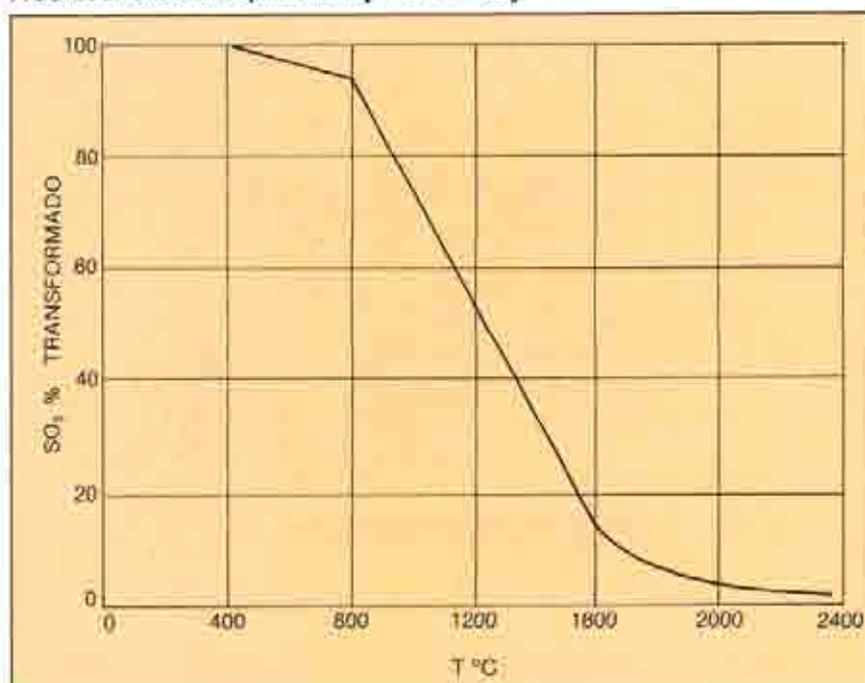
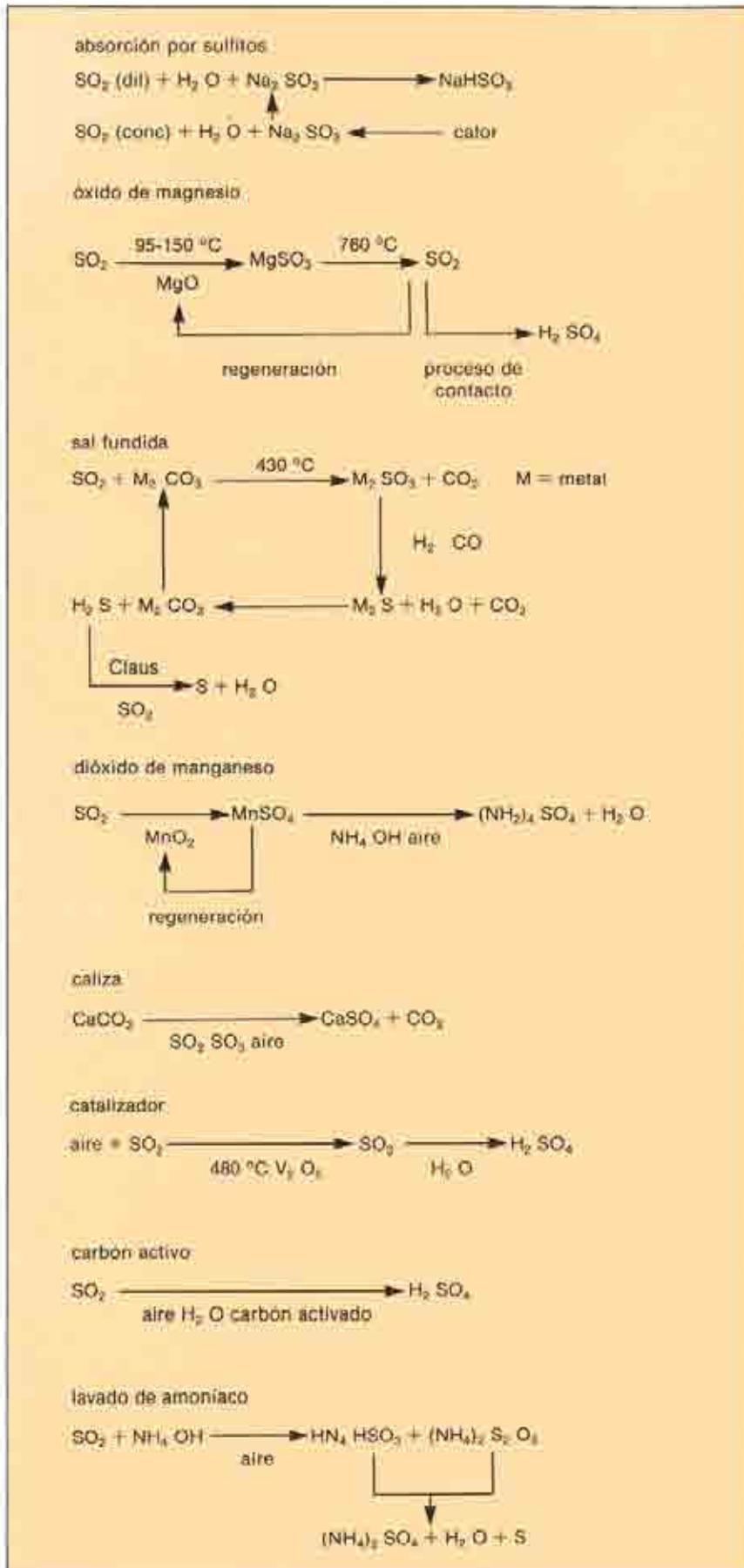


FIGURA 7. Métodos de eliminación del SO₂.



ganeso, caliza, catalizadores, carbón activo, lavado de amoníaco, etc.

Otro elemento a eliminar en los humos de un generador de vapor es el óxido de nitrógeno, también por su carácter corrosivo.

En este caso, la producción de este óxido no depende del nitrógeno presente en la composición del combustible, sino que es adoptado del aire.

Los principales factores que intervienen en la formación del NO como principal componente del óxido de nitrógeno son la temperatura de combustión y la proporción aire-combustible. Actuando sobre estos factores disminuiríamos la posibilidad de formación de corrosiones.

PROTECCION DE CALDERAS EN PARADAS

La problemática que supone la corrosión en las calderas se agrava cuando se procede a un paro más o menos prolongado de las mismas (revisiones, reparaciones, falta de producción...). Es en estas paradas cuando se produce una serie de mecanismos que aceleran la velocidad de corrosión y que es necesario tener en cuenta.

La oxidación atmosférica de la magnetita nos produce un producto de color rojizo (Fe₂O₃) que carece de las características protectoras de la magnetita.

Las líneas generales del mantenimiento preventivo pueden resumirse en realizar de forma ordenada las operaciones necesarias para suprimir las sustancias que puedan dañar al generador de vapor.

En la zona de humos, se produce el ácido sulfúrico ya que se ha disminuido la temperatura, situándonos en temperaturas inferiores al punto de rocío.

En estas situaciones un programa de mantenimiento, debe tener prevista la actuación durante las paradas, protegiendo los calderines y los tubos de agua, mediante la introducción de aguas desmineralizadas, a un pH de 9,5 a 10,5, con la cantidad suficiente de hidracina o sulfito sódico, para efectuar la protección durante la parada. Este procedimiento es el denominado «húmedo» de protección.

En la zona de humos se puede efectuar un proceso de inmersión o de gasificación. El primero consiste en inundar el hogar o duchar los tubos con soluciones neutralizantes de carbonato sódico e hidróxido amónico, para neutralizar las cenizas y los ácidos que se forman en el proceso de enfriamiento.

El segundo proceso —la gasificación— se fundamenta en la inyección de amoníaco en forma de gas en el hogar y en el tiro, cerrando convenientemente las entradas de aire y de tiro.

MANTENIMIENTO DE GENERADORES DE VAPOR

El intentar especificar las operaciones que debe contemplar un buen mantenimiento de un generador de vapor es casi imposible, debido a la variedad de equipos existentes en el mercado.

Las líneas generales del mantenimiento preventivo pueden resumirse en realizar las operaciones necesarias para eliminar las sustancias que puedan dañar al generador de vapor. Estas sustancias ya han sido tratadas ampliamente en apartados anteriores.

La manera de realizar el mantenimiento, la frecuencia con que deben llevarse a cabo las diversas operaciones y las cantidades de sustancias que pueden tolerarse son los parámetros que es necesario fijar por parte del fabricante de la caldera.

Es el fabricante del equipo quien conoce mejor las características del generador de vapor, y por tanto debe ser él, la persona que defina las operaciones necesarias para lograr una conducción segura del mismo.

Además el fabricante está obligado a entregar al usuario, un cuaderno de instrucciones en el que deben figurar, entre otras cosas, los trabajos

de entretenimiento y frecuencia de los mismos. En dicho cuaderno figurarán los trabajos relativos a conservación de juntas, periodicidad de engrases, limpiezas...

En un programa de mantenimiento, el personal encargado de la conducción de una caldera debe realizar una serie de operaciones diariamente, como son: purgar la caldera (cada cuatro horas), botellines, niveles (cada cuatro horas) y manómetro y limpiar las boquillas del quemador.

De la misma forma, semanalmente debe hacerse funcionar el segundo sistema de alimentación (si la caldera dispone de él) para evitar que se agarrote, levantar manualmente las válvulas de seguridad y limpiar los filtros de agua y de combustible y el sistema de encendido de quemadores.

Estas recomendaciones que se han efectuado son tan sólo un resumen de lo que debe tenerse en cuenta para un buen funcionamiento y correcta conservación de una caldera. No se pretende que estas instrucciones sean la totalidad de las operaciones a efectuar. Recordemos la necesidad de consultar con el fabricante de la caldera sobre las medidas de precaución, instrucciones y observaciones necesarias para el correcto funcionamiento de un generador de vapor.

REVISIONES PERIODICAS

La forma más eficaz de controlar si el mantenimiento que se efectúa sobre una caldera es el adecuado o no, es someterla a una revisión periódica.

Esta revisión o inspección debe efectuarse anualmente, aprovechando los períodos de paro de la misma (vacaciones, períodos de baja producción...), con el fin de disminuir la incidencia sobre el normal funcionamiento de la empresa.

Asimismo, estas inspecciones se efectuarán de manera oficial con la asistencia de inspectores de las entidades de inspección y control reglamentario, los cuales levantarán acta del resultado de dicha inspección, con una periodicidad de cinco años desde la entrada en servicio de la caldera, y posteriormente cada tres años.

Antes de efectuar una inspección o prueba en una caldera debe comprobarse que sus paredes están frías y que todas las partes accesibles se encuentran secas, permaneciendo abiertas las zonas de inspección y de limpieza, así como las puertas o registros de los conductos y cajas de humos.

La forma más eficaz de controlar si el mantenimiento que se efectúa sobre una caldera es el adecuado o no, es el someterla a una revisión periódica.

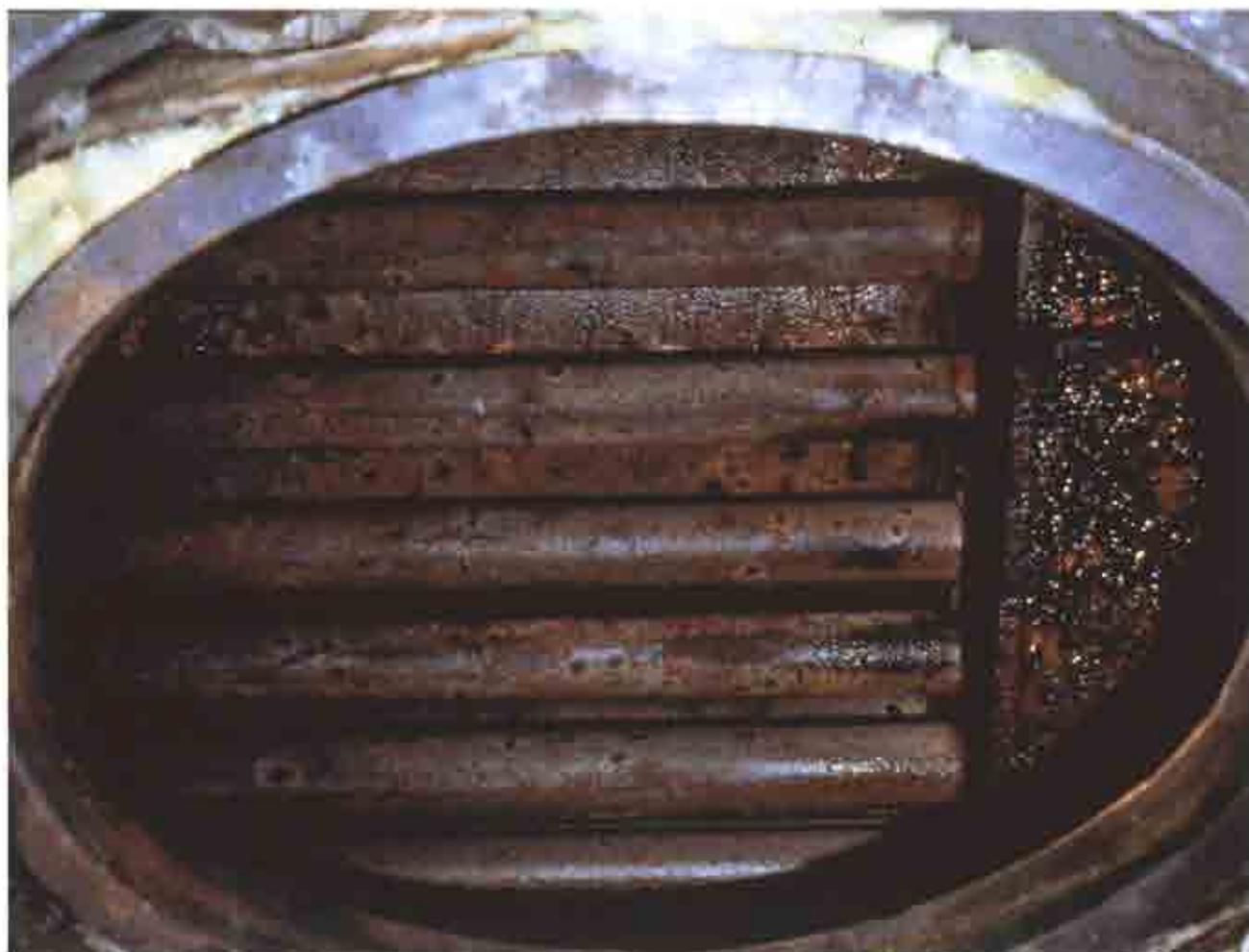
Debe tomarse las precauciones necesarias para evitar la entrada en la caldera de fluidos o gases procedentes de la instalación o de otras instalaciones que accidentalmente puedan estar en comunicación con la caldera o elementos de la misma que se van a inspeccionar. Asimismo, es esencial evitar la puesta en funcionamiento del sistema de aportación calorífica.

Esta revisión periódica de la caldera debe comprender una inspección del estado de la caldera, una prueba hidrostática y un ensayo de funcionamiento.

En principio, debemos efectuar una inspección previa a la limpieza de la caldera, tanto por la zona de humos como por la de fluidos, con el fin de observar los depósitos acumulados para detectar posibles anomalías en el funcionamiento (Fig. 8). Una vez realizada la limpieza, se examinarán las diversas partes de la caldera, prestando especial atención a aquellas que soportan presión, con el fin de determinar deformaciones, fisuras, corrosiones, desgastes, etc. En caso de detectar alguna anomalía, se señalará con tiza para poder, posteriormente, realizar un ensayo suplementario.

Estos ensayos suplementarios nos proporcionarán la información suficiente para poder averiguar el alcance de la anomalía detectada. Estos ensayos reciben el nombre de Ensa-

FIGURA 8. Inspección visual de tubos.



Es necesario que en el tratamiento del agua de alimentación se tenga presente la eliminación del oxígeno y del CO_2 .

yos No Destructivos (E.N.D.) y pueden ser ensayos por líquidos penetrantes, mediante partículas magnéticas, ultrasonidos, gammagrafías, etc. (Fig. 9 y 10).

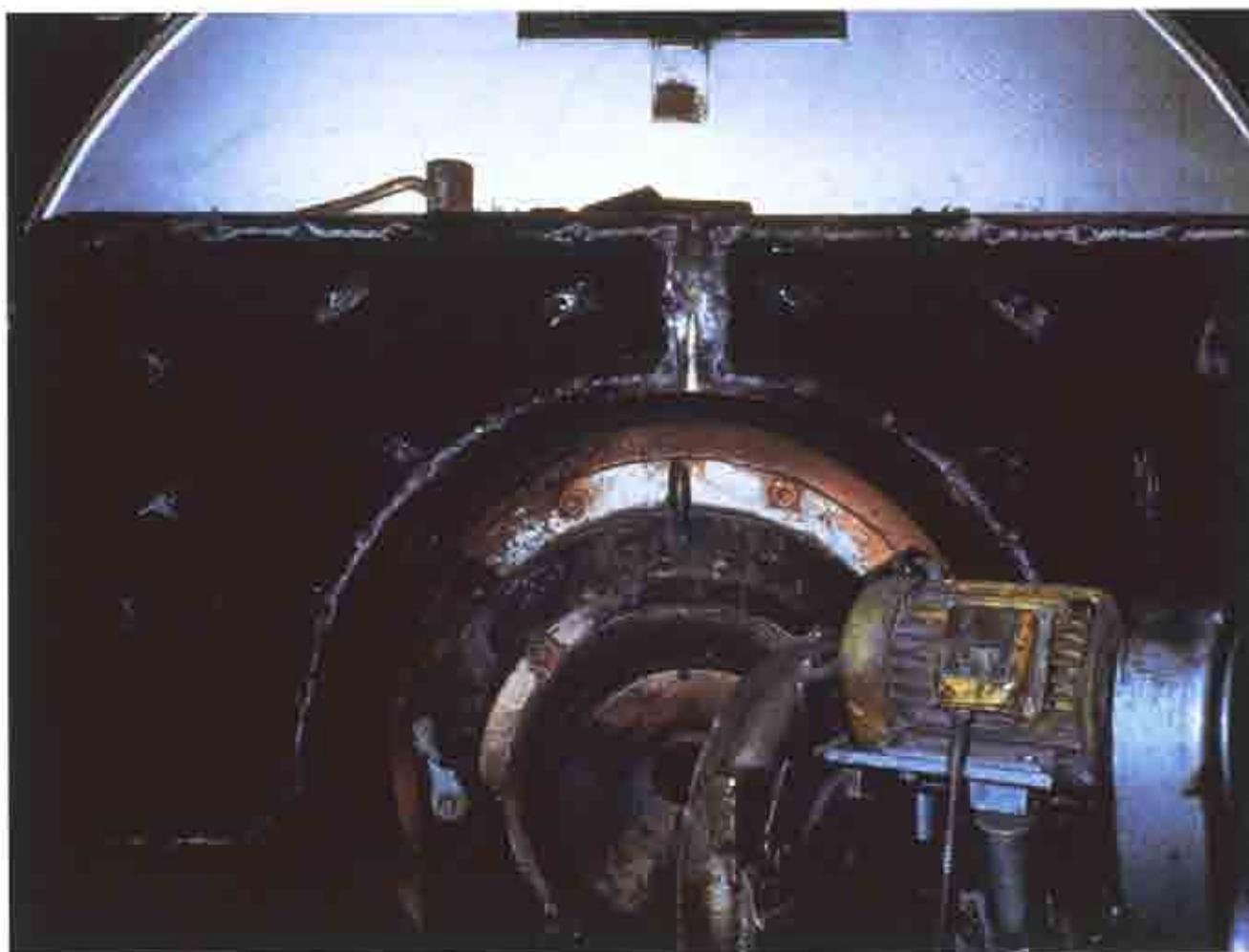
En esta etapa de la inspección se debe analizar el estado de los diversos accesorios de la caldera. Se evaluará el estado de los reguladores y limitadores de nivel de agua y de presión, válvulas, grifos, indicadores de nivel, espárragos, tubuladuras, tubos de conexión, etc.

Especialmente se desmontarán las válvulas de seguridad para comprobar que sus distintos elementos no presenten anomalías y que su interior esté limpio de acumulaciones de mofo, incrustaciones o sustancias extrañas.

Todos los manómetros y termómetros se comprobarán con un manómetro patrón. Se examinará el buen estado de la obra refractaria de la cámara de combustión, solera, cámara de hogar, etc., sustituyendo aquellas partes defectuosas. Se inspeccionará el cuadro eléctrico —co-

El azufre es el causante principal de la aparición de corrosiones en el lado de los humos de la caldera.

FIGURA 9. Medición de espesores por ultrasonidos en la placa tubular frontal.



nexiones, aislamiento de cables, etc.— para sustituir todos los dispositivos y cables defectuosos.

Realizada la inspección del estado de la caldera, tendrá lugar una prueba hidrostática de presión, a una vez y un tercio de la presión de diseño:

$$P_p = 1,3 \times P_d$$

siendo P_p = p. de prueba
 P_d = p. de diseño

Para poder realizar la prueba hidrostática se colocarán bridas ciegas o tapones roscados, según proceda, a las válvulas de salida de vapor, descarga y seguridad; se llenará la caldera con agua a la temperatura ambiente hasta que rebose por la válvula de aireación, en cuyo momento se cerrará esta válvula o se colocará una brida ciega.

La prueba se efectuará preferentemente con una bomba accionada a mano provista de un manómetro previamente contrastado (Fig. 11). La

bomba elevará de manera lenta la presión hasta alcanzar la de la prueba, presión que se mantendrá durante un tiempo no superior a treinta minutos. Transcurrido el tiempo indicado, se hará descender la presión hasta alcanzar la máxima de servicio, la cual se mantendrá el tiempo necesario para efectuar una inspección visual de todas las partes accesibles de la caldera y comprobar que no existen fugas de fluido.

Seguidamente se hará descender la presión hasta alcanzar la atmosférica, a partir de cuyo momento se efectuará una nueva inspección visual para comprobar que no se han producido deformaciones permanentes.

Efectuada la prueba hidrostática, y si su resultado ha sido satisfactorio, se realizará el ensayo de funcionamiento. Para realizar este ensayo se pondrá en funcionamiento la caldera hasta alcanzar la presión o temperatura máxima de servicio, a partir de cuyo momento se efectuarán las comprobaciones siguientes:

— *Regulación y precinto de las válvulas de seguridad.* Con la caldera en funcionamiento se procederá a la regulación y precintado de las válvulas de seguridad a una presión que no exceda en un 10 por 100 de la máxima de servicio y sin sobrepasar en ningún caso la presión de diseño.

— *Comprobación de los automatismos de regulación.* Se comprobará el correcto funcionamiento de los reguladores de nivel de agua, así como de los reguladores de presión o de temperatura.

— *Automatismos de seguridad.* Se comprobará la acción correctora de los diversos automatismos de seguridad, debiendo parar el sistema de aportación calorífica, exigiéndose una acción manual para su puesta en marcha. Estos automatismos son los limitadores de nivel, presión o temperatura. Asimismo, se evaluará el funcionamiento del control de llama, los dispositivos de paro del sistema de aportación calorífica y de corte de fluido eléctrico y el temporizador.

CONCLUSIONES

La gravedad que comporta un accidente en un generador de vapor hace necesario adoptar una serie de medidas encaminadas a garantizar la seguridad de estos equipos.

Esta seguridad puede conseguirse dotando al equipo de una serie de elementos, como son los manómetros, presostatos, válvulas de seguri-

dad, etc., de actuación directa ante unas condiciones inseguras.

Pero consideramos más apropiado el establecer una prevención de estas condiciones anómalas. Prevención que se basa en un correcto mantenimiento, encaminado a eliminar o, en su defecto, limitar las acciones nocivas a que pueden verse sometidas las partes a presión de este tipo de aparatos.

Entre estas acciones hemos destacado la eliminación de las incrustaciones y el control de la corrosión. Mediante el control de estos dos parámetros, además de conseguir un funcionamiento más eficaz, desde el punto de vista del rendimiento económico, conseguiremos establecer un sistema seguro de prevención de las explosiones.

FIGURA 10. Medición de espesores por ultrasonidos. Detalle de los puntos de medición.

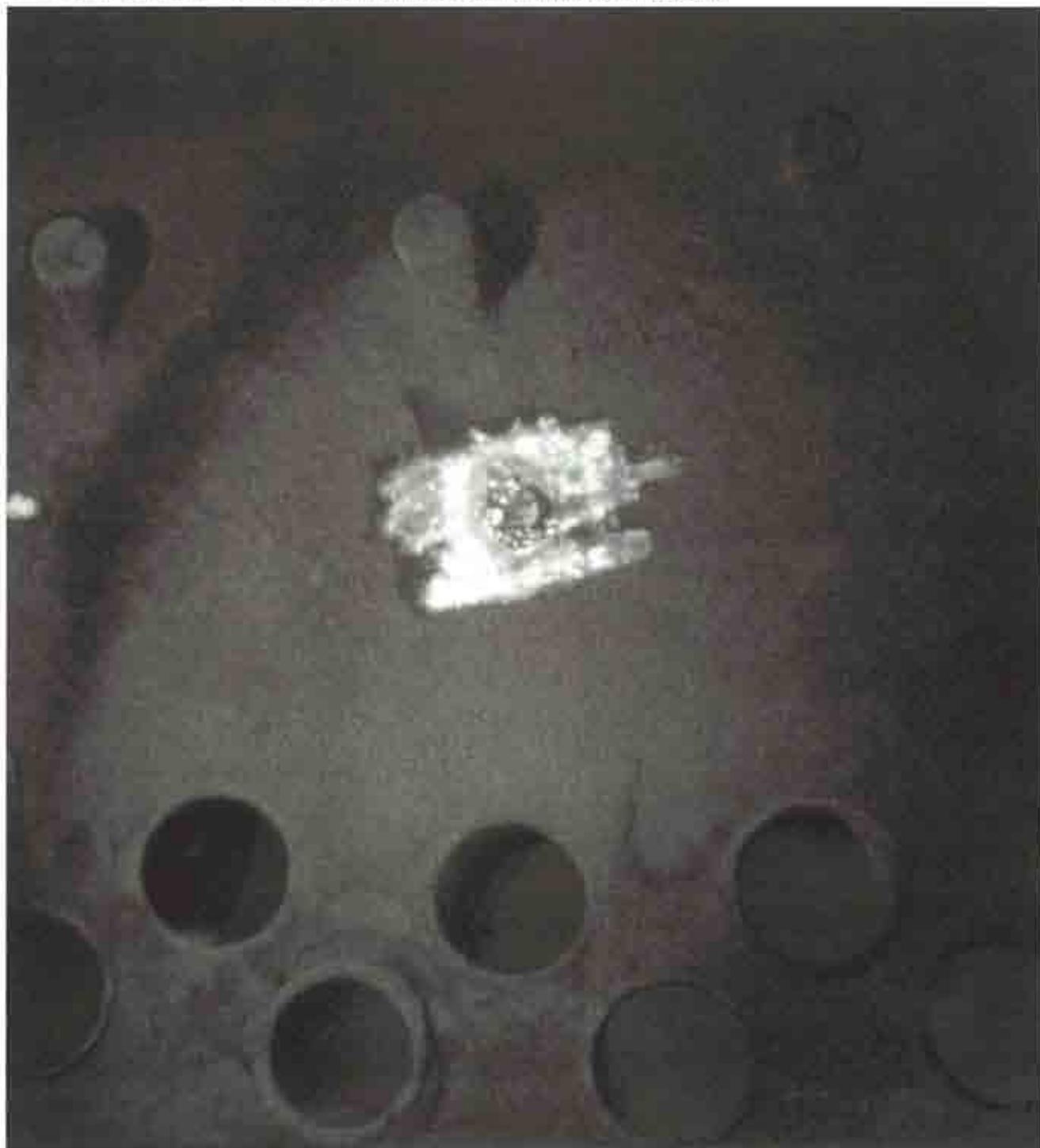
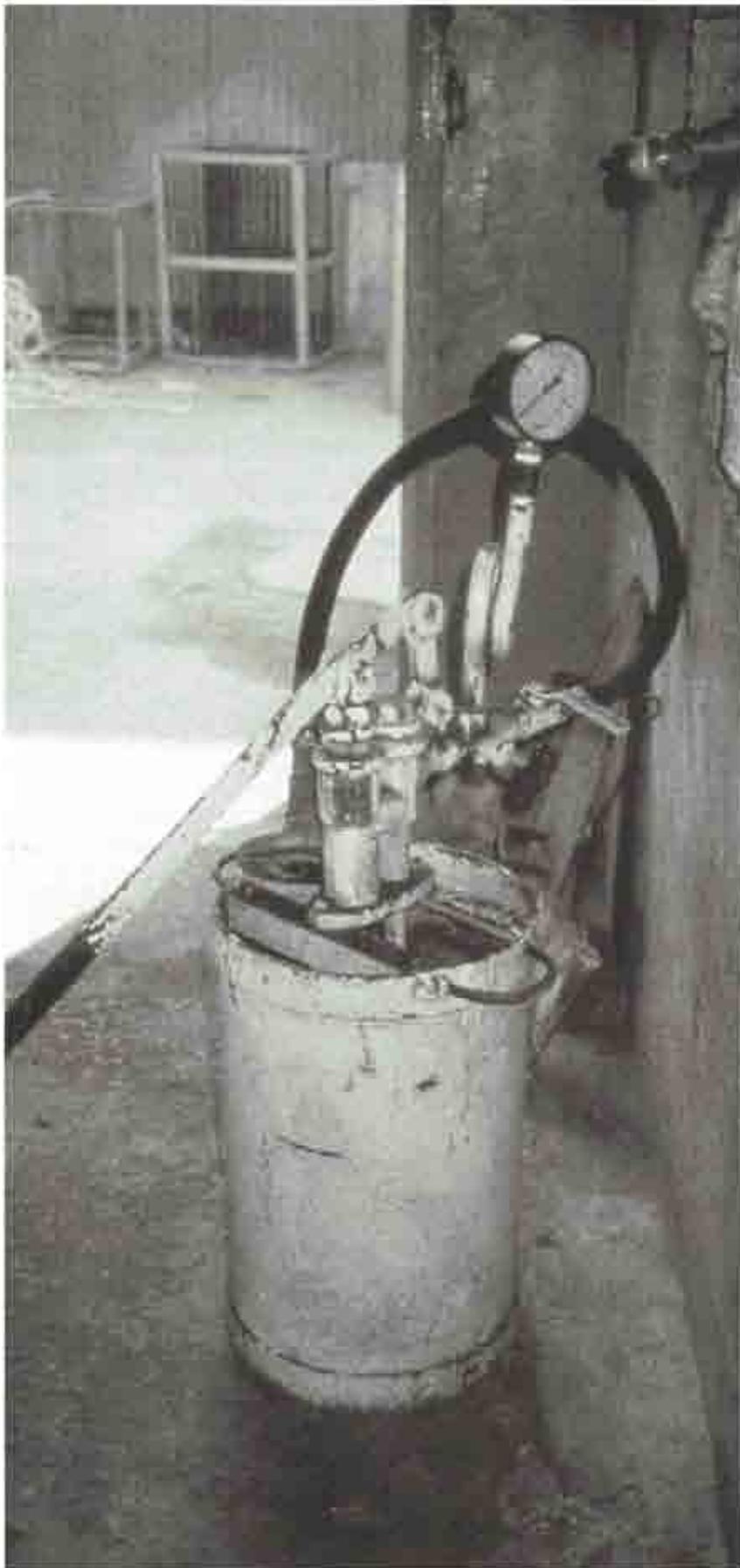


FIGURA 11. Bomba de accionamiento manual para pruebas hidrostáticas.



BIBLIOGRAFIA

- VIAN A., y OCON J.: *Elementos de ingeniería química*, Ed. Aguilar.
- SAVIDAN, L.: *Resinas cambiadoras de iones*, Ed. Alhambra.
- MARTÍ DEULOFEU, J. M.: *Revista Corrosión y Protección*, Junio-Julio 1977 «Efectos de un agua incrustante. Procedimientos que permiten disminuir su dureza y evitar la incrustación».
- ASISTENCIA TÉCNICA CAMPSA: *Manual técnico sobre la utilización de combustibles líquidos en la industria*.
- GARCÍA-ATANCE, J.: *Revista Mapfre Seguridad* (2.º trimestre 1982). «Accidentes y averías en calderas y recipientes a presión».
- MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA: *Operadores industriales, de calderas. Conocimientos básicos para la obtención del carnet de operadores de calderas*. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica.
- REGLAMENTO DE APARATOS A PRESIÓN, Real Decreto 1244 de 4/4/1979 (B.O.E. 29/5/1979).
- ITC. MIE. AP. 1 Calderas, economizadores, precalentadores, sobrecalentadores y recalentadores Orden 17/3/1982 (B.O.E. 8/4/1981) Orden 28/3/1985 (B.O.E. 13/4/1985).
- UNE 9-104-86 APARATOS A PRESIÓN. REVISIONES PERIÓDICAS.
- UNE 9-103-85 CALDERAS. REVISIONES PERIÓDICAS.
- UNE 9-206-88 CALDERAS. INSPECCIÓN DE LAS INSTALACIONES.