
SEGURIDAD EN EL TRABAJO

ACCIDENTES Y AVERIAS EN CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION

D. JAVIER GARCIA-ATANCE



INTRODUCCION

Los incidentes tanto por accidente como por avería que se producen en las instalaciones sometidas a presión, son de importancia vital en la marcha de las instalaciones fabriles, no sólo por las posibles y desgraciadas pérdidas de vidas humanas, sino porque las centrales térmicas y líneas de presión son el auténtico corazón generador y transportador de la energía que se requiere en la mayor parte de los casos para el proceso productivo.

Vamos a analizar de forma global y en base a la experiencia recogida en varios países europeos a través de sus organismos de inspección de aparatos a presión, cuáles son las causas más corrientes de los accidentes y averías detectados.

Clasifiquemos en cuatro grandes grupos el conjunto de los recipientes sometidos a presión que encontramos normalmente en las factorías.

A. Calderas de vapor de agua.

De tubos de agua o acuotubulares.

De hogar interior o funitubulares.

B Calderas de agua sobrecalentada.

C Recipientes a presión.

De vapor de agua.

De aire.

De gas.

D Instalaciones de fluido orgánico.

TIPOS Y LOCALIZACION DE AVERIAS

Pasamos a analizar en cada uno de los grupos cuáles han sido por estadística de siniestralidad

las causas más corrientes de incidente con avería y/o accidente.

GRUPO A.— CALDERAS DE VAPOR DE AGUA

DE TUBOS DE AGUA

La incidencia mayor se ha producido en:

- **Tubos**, mediante corrosión y erosión con disminución de espesor por debajo de los límites tolerables por cálculo o por plasticidad con la correspondiente pérdida de características mecánicas.
- **Domos y colectores**, como consecuencia de fisuras aparecidas en las uniones con los tubos injertados en los mismos.
- **Dispositivos de seguridad defectuosos**, las válvulas de seguridad, presostatos, termostatos, indicadores de nivel, seguridades por falta de llama o de tensión eléctrica que pueden no estar en correctas condiciones de funcionamiento y por consiguiente no actuar en el momento preciso.
- **Regulación defectuosa de la llama** llegando a producir calentamientos locales en zonas metálicas con debilitamiento de sus características metalúrgicas. (Fig. 1).

DE HOGAR INTERIOR

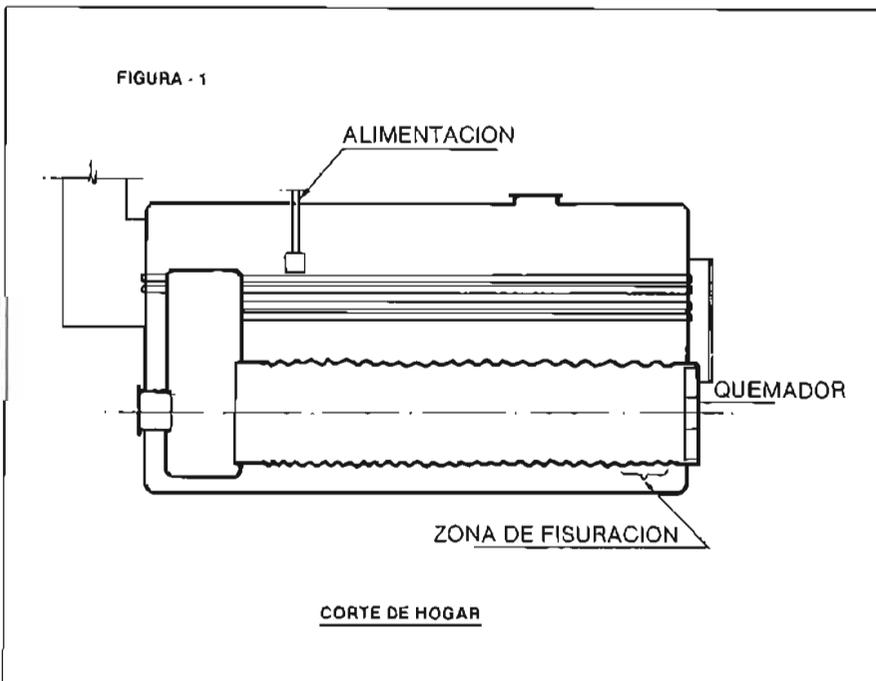
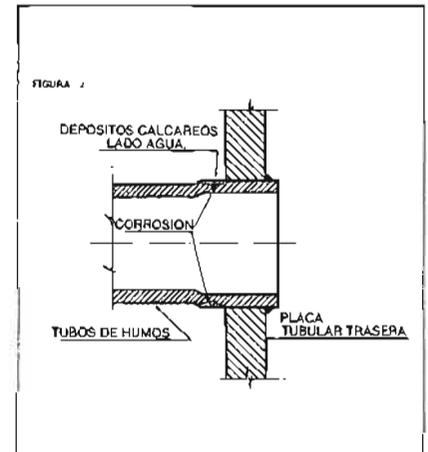
Las incidencias han aparecido en:

- **Tubos**, por corrosión y erosión similarmente al caso de las acuotubulares.
- **Placas tubulares**, como consecuencia de las fisuras que aparecen en las soldaduras de penetración de tubos en las placas tubulares.
- **Problemas inherentes al diseño** como defectos de circulación, embridamiento excesivo por virotillos y stays, etcétera.
- **Hogar**, por colapso del mismo como consecuencia de una excesiva vaporización en la cámara de agua por disminución del nivel, por defectuosa circulación de agua, o por presencia de residuos aceitosos en la caldera.
- **Dispositivos de seguridad defectuosos**: al igual que en las de tubos de agua, las válvulas de seguridad, presostatos, termostatos, indicadores de nivel, seguridad por falta de llama o de tensión eléctrica que pueden fallar en su funcionamiento.
- **Regulación defectuosa de la combustión**: con incidencia de llama en partes metálicas y debilitamiento de ellas por pérdida de características mecánicas.

Acumulación de gases combustibles en el hogar con deflagración accidental y/o sobrecalentamiento localizado en el hogar con posible vaporización instantánea e insuficiencia de evacuación a través de válvulas de seguridad.

De forma común para las calderas de ambos grupos podemos indicar así mismo:

- **Defectuoso tratamiento de las aguas de alimentación**, lo que representa unos depósitos calcáreos rodeando a los tubos, o pegados a la placa tubular del lado agua de forma que la transmisión calórica es menor produciendo recalentamientos localizados con aparición de las fisuras ya mencionadas. (Fig. 2).

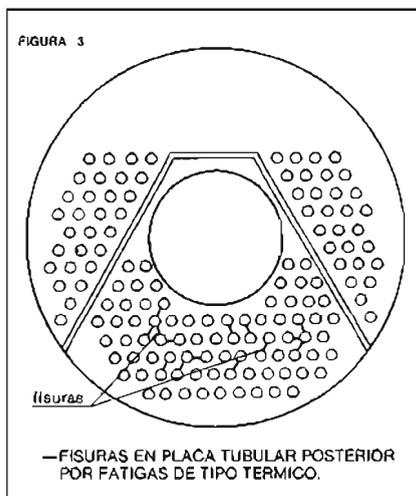


GRUPO B.— CALDERAS DE AGUA SOBRECALENTADA

En la mayor parte de los países europeos, las calderas de agua sobrecalentada son principalmente de tubos de humo. Por consiguiente, los accidentes que en ellas aparecen son similares a los indicados en el grupo de calderas de hogar interior, exceptuando los correspondientes a indicadores de nivel por no existir en este tipo de calderas.

Así mismo se producen fisuras en la cámara de agua en zonas de soldadura por el gran salto térmico entre ida y retorno. (Fig. 3).

Corrosión a baja temperatura por posible temperatura de humos con contenido de SO_2 que con la condensación de H_2O puede generar el corrosivo ácido sulfúrico.



GRUPO C.— RECIPIENTES A PRESION

DE VAPOR DE AGUA

- Corrosión, erosión y fatiga de los materiales por las oscilaciones cíclicas de presión en los acumuladores de vapor, causa frecuente de accidentes.
- Defectos en los enclavamientos de los dispositivos de apertura y cierre.
- Fisuras en las extremidades de los tubos, en los injertos con la virola o fondos del recipiente.
- Fallos de los elementos de seguridad (válvulas de seguridad).
- Irregularidad en la presión diferencial en los acumuladores con doble cámara de presión.

DE AIRE

- Fisuras debidas a vibraciones de los compresores instalados sobre los depósitos.
- Corrosión localizada en la generatriz inferior para recipiente horizontal o en el fondo si el recipiente es vertical.
- Fallo de los elementos de seguridad.
- Corrosión exterior.

DE GAS

- Incompatibilidad de los materiales entre ellos con el gas.
- Corrosión del material.
- Cambios metalúrgicos por difusión del gas a través de los granos de la estructura del acero (por ejemplo en presencia de hidrógeno).
- Plasticidad, erosión exterior, fatiga por trabajo de tipo cíclico.

GRUPO D.— INSTALACIONES DE FLUIDO ORGANICO

- Recalentamiento del fluido con posible fisuración, rotura e incendio del fluido.
- Transferencias metalúrgicas.
- Defectos de los elementos de seguridad (presostatos, termostatos, válvulas de seguridad).
- Material inapropiado para la temperatura de servicio del fluido térmico.
- Coagulación interior de los tubos con recalentamiento y obstrucción de los mismos.

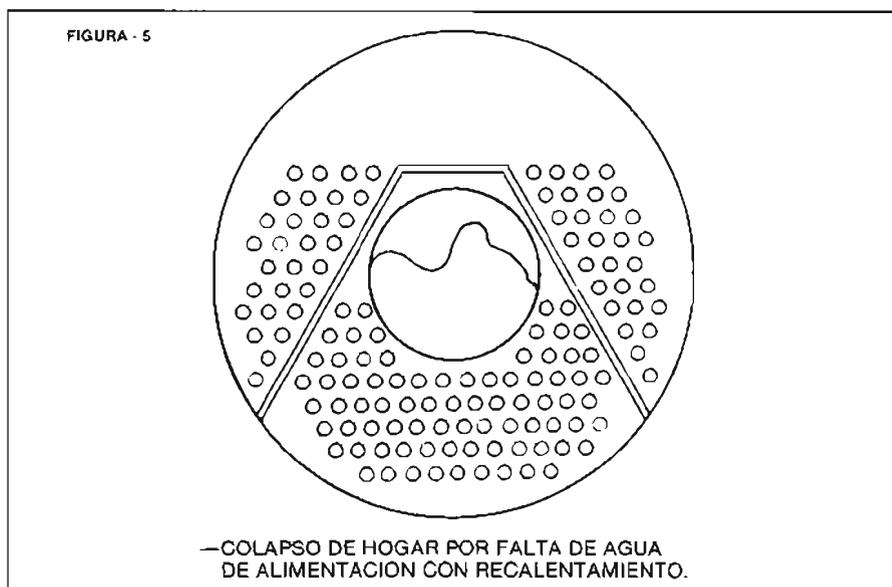
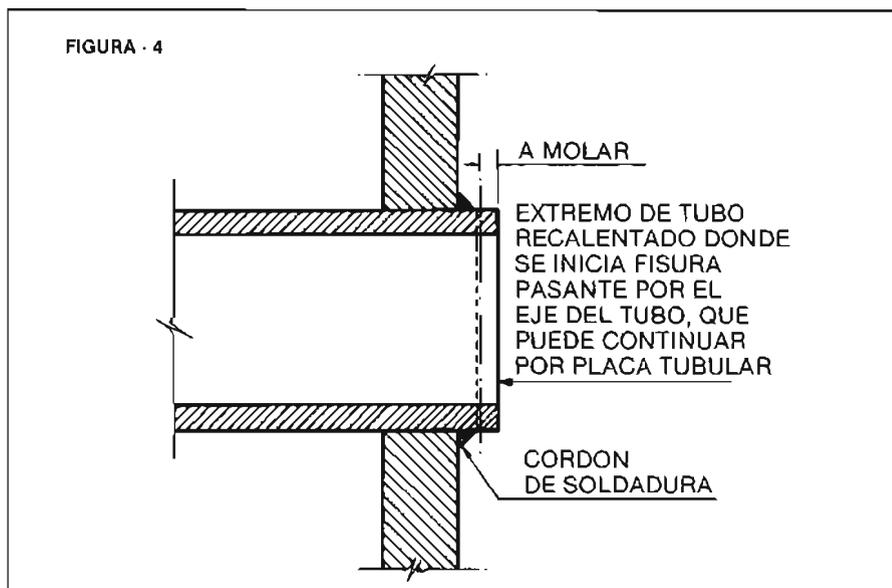
CAUSAS DE LAS AVERIAS

Una vez expuestos los accidentes

que se han producido con mayor incidencia en los cuatro grupos de aparatos, vamos a estudiar más a fondo las causas de averías o accidentes más tipificados entre los que hemos mencionado.

Podríamos agrupar los mismos en los siguientes:

- Incrustaciones (consecuencias visibles en la Fig. 2).
- Corrosiones del lado del fuego.
- Falta de agua. (consecuencias visibles en la Fig. 5).
- Corrosiones del lado agua (consecuencias visibles en la Fig. 2).
- Contracciones térmicas (consecuencias visibles en Figs. 3 y 4).



INCRUSTACIONES

Se trata en general de depósitos de silicatos, carbonatos y fosfatos de calcio así como óxido de hierro proveniente de la oxidación metálica que produce una capa incrustada en los tubos y placas tubulares impidiendo la transmisión del calor.

El proceso de la avería se puede explicar en las siguientes etapas:

1. Tratamiento del agua de alimentación inadecuado por falta generalmente de regeneración del elemento rebajador del grado de dureza del agua.
2. Como consecuencia del depósito calcáreo en la superficie metálica se produce un defecto de transmisión de calor con un recalentamiento localizado.
3. Este calentamiento produce la decarburación de la matriz del acero, quedando disminuida su resistencia como consecuencia de la menor característica mecánica de la ferrita respecto a la cementita.
4. Como consecuencia de esta fragilización de la matriz metálica se produce la fisuración por falta de características de ductibilidad en cuanto se produce calentamiento o enfriamiento por efecto térmico.

CORROSIÓN EXTERIOR DEL LADO DE HUMOS

Se trata del efecto nocivo que sobre los tubos de una caldera pueden producir:

- El contacto con la solera o pared de obra de albañilería.
- El efecto de las pavesas u hollín depositado y que llevando una composición con SO_2 se puede producir a una cierta temperatura y por condensación de humedades, ácido sulfúrico con las consecuencias nocivas de corrosión en los mismos.

Estas averías se han detectado en las calderas de agua sobrecalentada principalmente, lo que es explicable por el salto térmico existente entre ida y retorno.

Se evita principalmente mediante una disposición de tubos que no se apoyen en obra de albañilería o solera refractaria.

Antes de la puesta en marcha de la caldera se procede a realizar una limpieza mecánica y química de dichos depósitos y se debe quemar un fuel con un contenido de azufre lo menor posible entendiéndose como tasa límite un 3%.

FALTA DE AGUA

Se trata probablemente de la avería más común en las calderas de vapor o agua sobrecalentada.

Las seguridades por falta de agua deben accionar en caso de falta de nivel la parada de los quemadores así como una señal luminosa y señal acústica.

La consecuencia más corriente es el colapso del hogar (Fig. 5).

Las encuestas realizadas indican normalmente:

- Fallo por bloqueo del flotador que regula la alimentación de agua.
- Fallo en la válvula automática de alimentación de agua.
- Neutralización de la señal luminosa de alarma de nivel mínimo por falsa maniobra del personal.

Se recomienda la modificación del sistema eléctrico de forma que por manipulación defectuosa del personal no sea posible sacar de servicio el accionamiento de alarmas luminosa y acústica.

CORROSIÓN INTERNA O DEL LADO DE AGUA Y/O VAPOR

Se trata de una avería que está vinculada con la formación de incrustaciones aunque no sólo se producen como consecuencia de las mismas.

Ya se ha explicado la fisuración como consecuencia de incrustaciones. No obstante también se produce este tipo de corrosión como consecuencia de las tensiones acumuladas tras el mandrinado de los tubos a la placa tubular así como de las soldaduras de estanqueidad de los tubos a la placa tubular.

Si estas tensiones existentes tras el mandrinado se suman al fenómeno de presencia cáustica en el agua de alimentación, se produce una corrosión bajo tensión muy acelerada.

CONTRACCIONES TÉRMICAS

Hemos mencionado anteriormente como a consecuencia de unos depósitos o incrustaciones de tipo calcáreo, se produce generalmente una acumulación térmica en zonas localizadas con una debilitación de las características mecánicas del material y consiguiente fisuración o rotura.

En las calderas de fluido térmico se observa que el mismo fluido portador de calor, como consecuencia del calor, va produciendo una progresiva destilación dejando acumulación de residuos pesados y produciendo el fenómeno de la coquificación.

Esta coquificación reduce de manera paulatina el diámetro del conducto llegando a provocar una auténtica estrangulación, en cuyo momento la transmisión de calor desaparece, produciéndose la rotura del material y en algunos casos concretos se ha observado en la visita de inspección en paro, hasta un pedazo de tubo totalmente coquificado en la solera de la caldera.

Así mismo en los de tubos de agua este fenómeno aunque mucho más lento, se produce por acumulación de sales calcáreas.

Las fatigas térmicas ocasionadas llegan así mismo a producir la fisura del tubo.

Por último, como ejemplo existente de este tipo de averías podemos citar las placas tubulares; donde los tubos en las calderas fumitubulares sobresalen excesivamente de la placa y en los mismos se produce una acumulación tensional constructiva, por el efecto del mandrinado que es una expansión en frío del tubo, acompañada durante el servicio por una acumulación térmica al incidir en algunos casos la llama sobre dicho saliente del tubo.

El efecto que produce dicha acumulación tensional es la aparición de fisura pasante en el tubo y que llega a transmitirse a la placa tubular comunicando la cámara de agua con el conducto de humos y denotando la presencia de vapor en la chimenea de deshaustación del humo.

Este fenómeno se acompaña generalmente con el efecto que la humedad por condensación origina en las partes frías de la caldera generando SO_2 de los gases, con el temible ácido sulfúrico altamente corrosivo (Ver Figs. 3 y 4).

MEDIDAS PREVENTIVAS

Es evidente que las estadísticas de los accidentes y el análisis de las causas de los mismos debe aportarnos la información necesaria para poder realizar las inspecciones de tipo preventivo necesarias para evitar los mismos o al menos disminuir sus efectos.

Las medidas preventivas recomendables podemos agruparlas en tres grupos:

- Medidas relativas al recipiente a presión, tanto caldera como aparato (diseño y construcción).
- Medidas relativas al tratamiento del agua.
- Medidas relativas al mantenimiento durante la explotación en servicio de la instalación.

MEDIDAS RELATIVAS AL RECIPIENTE

Nos referimos a dos tipos de actuación que son relativos al diseño o proyecto del equipo y a la construcción del mismo.

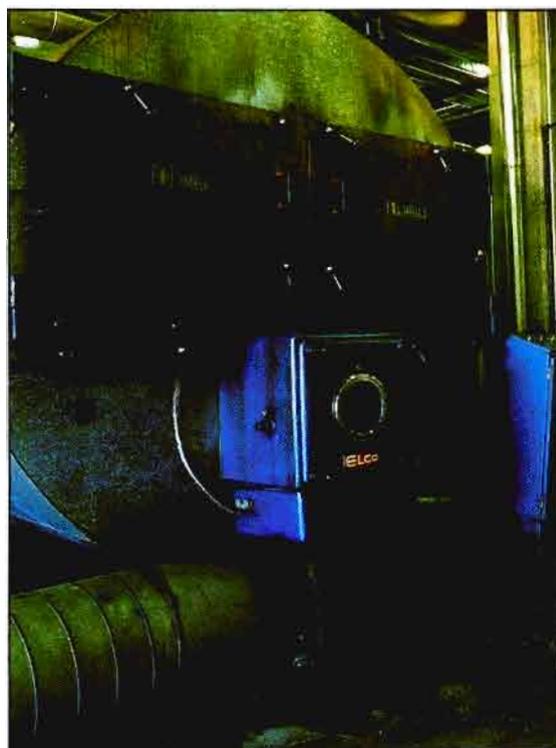
El diseño de un equipo o aparato a presión debe seguir un conjunto de requerimientos que están agrupados en los denominados Códigos.

Los Códigos dan las directrices a seguir en cuanto a:

- Materiales por características mecánicas y químicas.
- Cálculo partiendo de dichos materiales y en base a solicitudes de trabajo para obtener el escantillonado de las virolas, fondos, tubos, injertos, refuerzos, tubuladuras de las válvulas de seguridad, etc.
- Procedimiento de soldadura a emplear con indicación de características de elementos de aportación, cadencia de pasadas, tratamientos térmicos requeridos antes y/o después de la soldadura.
- Exámenes a realizar a los sol-

dadores que intervendrán en el soldeo del equipo a fin de asegurar la correcta mano de obra y realización de las uniones.

- Ensayos no destructivos tras la operación de soldadura para vigilar la correcta realización de las juntas o uniones.
- Testigos de producción para mediante los oportunos ensayos destructivos verificar el mantenimiento de los parámetros de inicio (homologación de procedimiento y calificación de soldadores así como mantenimiento de características de los materiales usados).
- Pruebas generalmente de presión para someter al material a unas tensiones superando las cuales se entiende que el equipo soportará con facilidad las tensiones normales de operación.
- Así mismo y previamente a la puesta en marcha se acoplan en la instalación los elementos de seguridad (válvulas, manómetros, termostatos, presostatos, indicadores de nivel) y se realiza la prueba de funcionamiento de quemadores con el oportuno reglaje de los mismos a fin de obtener una llama correcta.



MEDIDAS RELATIVAS AL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACION

Si la alimentación de las calderas se hiciera con agua no tratada, se formaría rápidamente dentro de ellas un importante sedimento e incrustación muy resistente sobre la superficie de calefacción haciendo de pantalla a la propagación del calor entre el hogar y el fluido a calentar. De ello se deduce que el rendimiento baja rápidamente, y para una misma capacidad de producción es necesario forzar la marcha de la combustión, deteriorándose las superficies de calefacción al alcanzar temperaturas excesivamente altas por no estar refrigeradas por el agua.

Esta deterioración puede llevar a consecuencias muy graves, explosión, quemaduras, etc.

“El tratamiento del agua de alimentación debe ser determinado por un especialista, siguiendo las características límites admisibles para el tipo de caldera y la presión de trabajo después de haber efectuado un análisis del agua a utilizar”.

SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Las calderas deben ser alimentadas con agua tratada, de las características límite de la Tabla que se expone a continuación.

MEDIDAS RELATIVAS AL MANTENIMIENTO O INSPECCION EN SERVICIO

Esta inspección en servicio denominada abono de verificación periódica de la instalación, comporta una visita anual (en paro y en marcha) de la instalación realizando los siguientes cometidos:

VISITA EN MARCHA

- Se comprueba la existencia de todos los elementos y órganos de seguridad que marcan los Códigos y se exigen en el Reglamento correspondiente de recipientes a presión.
- Se accionan dichos elementos de seguridad para verificar su correcto funcionamiento:

- **Por falta de agua.** Se corta la alimentación poniendo en régimen la caldera hasta comprobar cómo los indicadores actúan sobre el quemador parándolo y haciendo intervenir la señal acústica y la óptica.

- **Por falta de llama.** Se saca la célula fotoeléctrica tapándola de forma que accione sobre el suministro de fuel deteniendo el mismo con actuación de señales ópticas y acústicas.

- **Por exceso de presión.** Manteniendo cerrada la válvula de ida del vapor y forzando el quemador a su máximo régimen, se observa la subida de la presión en el manómetro verificando que al llegar a la presión de timbre las válvulas de seguridad se abren y la presión de caldera disminuye por evacuación correcta.

- **Por falta de tensión.** Se corta automáticamente la aportación de fuel a la caldera, requiriéndose un rearme manual previa señalización antes de volver a poner en marcha el generador.

VISITA EN PARO

Fundamentalmente este reconocimiento debe ir dirigido a una toma de datos interiores del equipo, para ver el avance de corrosión y posibles fisuras por condiciones de trabajo que ha sufrido el mismo y por consiguiente se requerirá la utilización de Ensayos no Destructivos (Ultrasonidos, para espesores de chapa o tubos) y otras técnicas que complementen la inspección visual para detección de posibles fisuras (como Partículas Magnéticas, para fisuración superficial o subperiférica y Rayos X, para verificación volumétrica de soldaduras).

CARACTERISTICAS LIMITES DEL AGUA DE LAS CALDERAS

PRESION DE FUNCIONAMIENTO

	HASTA 15 ATS.	DE 15 a 25 ATS.	DE 25 a 45 ATS.	DE 45 a 80 ATS.
Cloruros en Cl ₂ máximo gramos/litro	1	1	0,4	0,2
Sulfato en SO ₃ máximo gramos/litro	2	1	0,9	0,5
Salinidad total máxima en caldera gramos/litro	3	2	1,5	0,7
Alcalinidad total máxima Na OH máximo gramos/litro	0,65	0,50	0,30	0,10
Sílice Si O ₂ máximo gramos/litro		0,05	0,02	0,005
Contenido de oxígeno máximo en cm ³ /litro de agua de alimentación	0,03	0,05	0,01	0,005
pH mínimo del agua de alimentación	8,4	8	8	8
pH mínimo del agua de la caldera	11,5	11,2	11	10,8
Grado hidrotrimétrico TH	0	0	0	0
Alcalinidad total máxima CO ₃ Na ₂ máximo gramos/litro	0,80	0,65	0,45	0,20
Grado alcalimétrico completo TAC	80/100	40/60	20/40	10/15

Así mismo se puede apreciar el estado de mantenimiento y limpieza interior verificando la no aparición de elementos que puedan modificar las circunstancias que sirvieron de base en la realización del proyecto de equipo e instalación.

Así mismo el estado de incrustaciones, que debido a defectos en el agua de la alimentación pudieran acumularse en la cámara de agua.

Si en vez de un Generador de Vapor, nos referimos exclusivamente a Recipientes a Presión, el espíritu de reconocimiento interior y exterior es el mismo, es decir, verificar que cumplen con las exigencias del Reglamento al existir los elementos o dispositivos de seguridad obligatorios y verificar durante la visita en "marcha", que dichos dispositivos no sólo existen sino que actúan.

Tras este reconocimiento, se deberá asumir la responsabilidad de decidir si el equipo está en condiciones para volver a funcionar

por otra etapa, hasta la siguiente verificación periódica y por consiguiente poder verificar que el equipo está en buenas condiciones.

CONCLUSION

Tras las consideraciones expuestas, fruto de la experiencia en diversos países europeos y naturalmente en España, podemos concluir que los aparatos Industriales e Instalaciones sometidas a presión llevan consigo un riesgo inherente en su explotación y servicio, siendo la experiencia de los accidentes acaecidos y sus estadísticas quienes nos aportan información sobre las medidas a tener en cuenta para mejorar la calidad de dichos riesgos.

Esta medida, como hemos indicado en lo expuesto, afecta en parte a la concepción y diseño, en parte a la fabricación y finalmente al correcto mantenimiento. Los distintos organismos técnicos constituidos para la tutela y

vigilancia de la calidad del riesgo de dichos equipos e instalaciones, han recopilado en sus Códigos las medidas a adoptar por la experiencia tratando de evitar el accidente.

En la actualidad y tratando de mejorar la tasa de siniestralidad de equipos industriales, los organismos de tipo técnico de inspección, se ocupan de la verificación del cumplimiento de los requerimientos recogidos en los Códigos, tal y como ha sido espuesto, tratando consecuentemente de evitar el accidente industrial con las tremendas y cuantiosas pérdidas de vidas y de bienes.■