



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

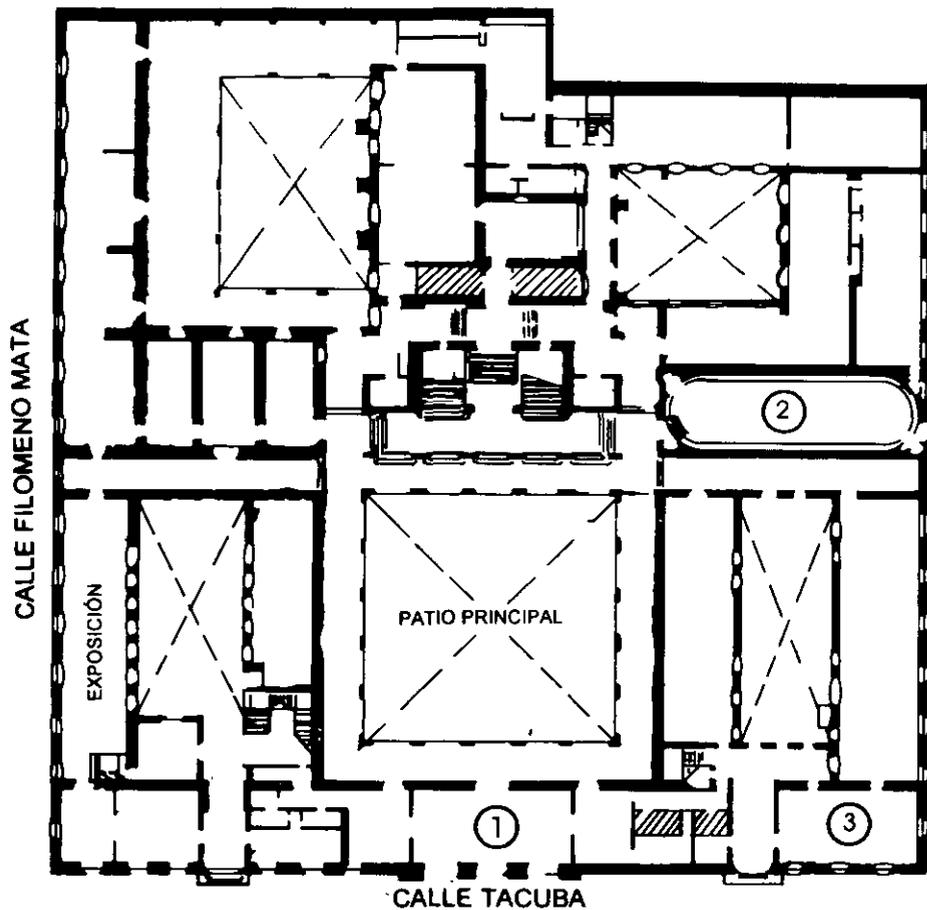
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

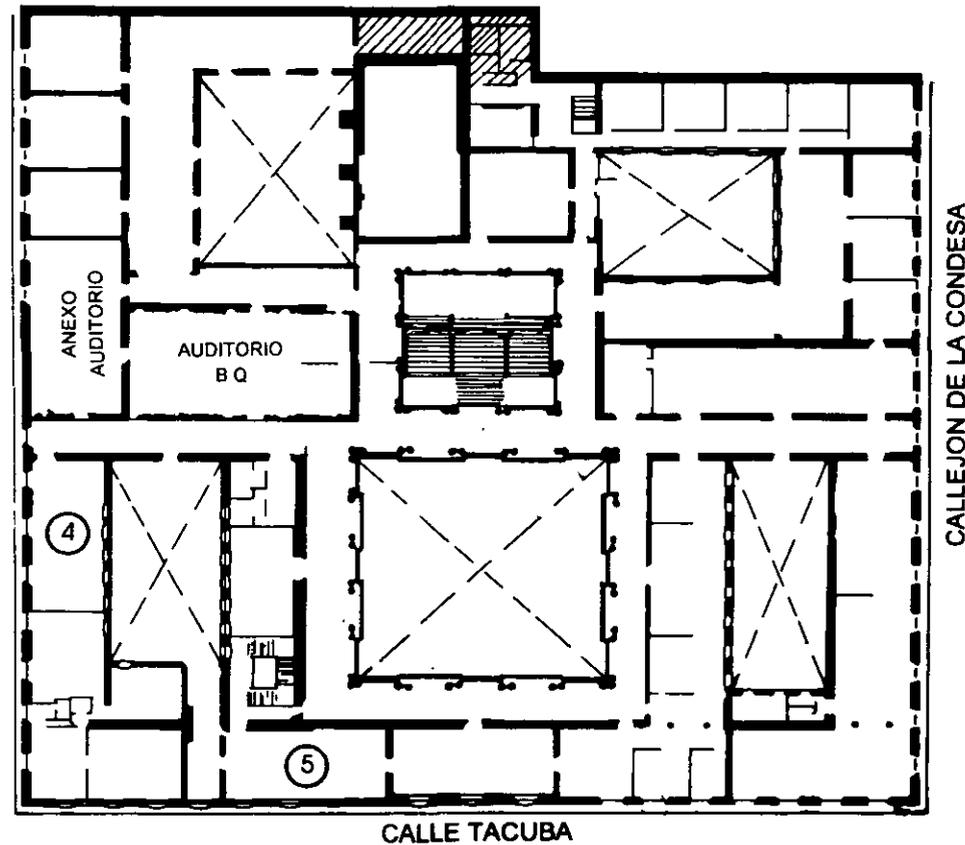
Atentamente

División de Educación Continua.

PALACIO DE MINERIA

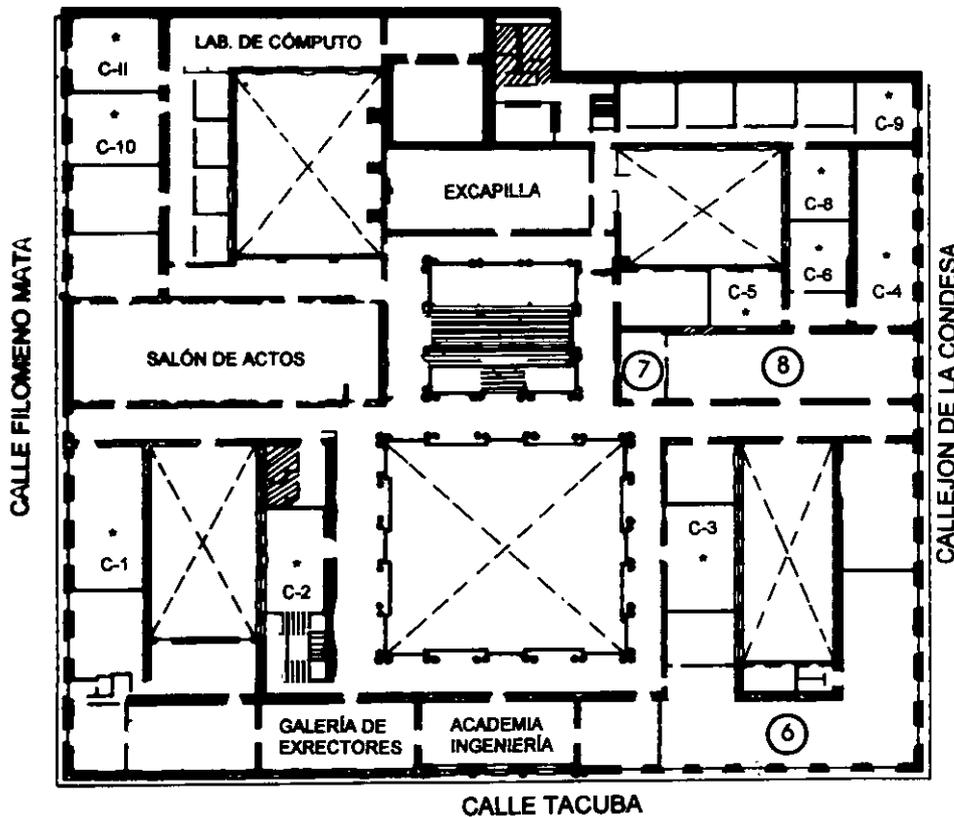


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

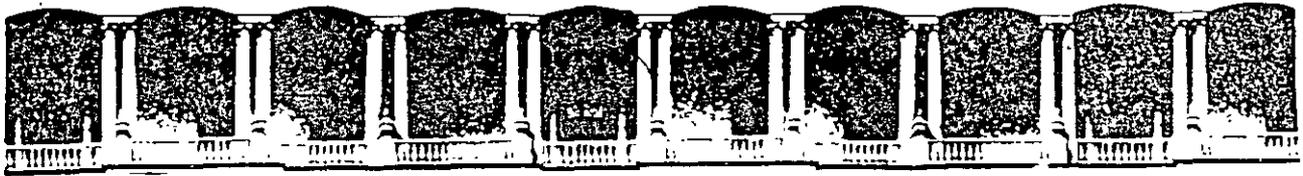
1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

MANTENIMIENTO A CALDERAS

APUNTES GENERALES

**EXPOSITOR: ING. MARTINIANO AGUILAR RODRÍGUEZ
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DE 1998**

INDICE

I.	PRINCIPIOS DE TECNOLOGÍA DE METALES FERROSOS	2
II.	RECOMENDACIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO DE CALDERAS	17
III.	LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	27
IV.	FALLAS CARACTERÍSTICAS EN LAS CALDERAS	38
V.	INSPECCIÓN EXTERNA	44
VI.	INSPECCIÓN INTERNA DE LA CALDERA	48
VII.	REPARACIONES	55
VIII.	SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	65
IX.	TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA Y MUESTREOS	70
X.	PROCEDIMIENTO DE HERVIDO DE CALDERAS, LIMPIEZA QUÍMICA Y ALMACENAMIENTO	81
XI.	INCRUSTACIÓN, DEPÓSITO, CORROSIÓN, EROSIÓN	88
XII.	LA GESTIÓN DE REFACCIONES	100

I.- PRINCIPIOS DE TECNOLOGÍA DE METALES FERROSOS

I.1.- INTRODUCCIÓN

En la arquitectura (hardware) de los componentes, equipos, estructuras y sistemas de las plantas industriales se utilizan muchos tipos de materiales, pero los empleados mayormente y que tienen más importancia son los metales y sus aleaciones.

Los metales son un grupo de materiales que presentan características generales de buena ductilidad, resistencia mecánica y conductividad eléctrica y térmica; los otros tipos o grupos de materiales son cerámicos, polímeros y compuestos o semiconductores. - En la Fig.1, se muestran algunas diferencias importantes entre estos tipos de materiales -

Los metales y sus aleaciones se dividen en dos grandes categorías:

- ferrosos
- no - ferrosos

Los metales ferrosos y sus aleaciones están basados en el hierro como el constituyente principal e incluyen aceros, aleaciones de acero y diversas clases de hierro fundido.

Las principales aleaciones (el acero y el hierro colado), son aleaciones de hierro con carbono, para obtener otras propiedades en el hierro y el acero, se añaden otros elementos de aleación

El hierro (Fe), es un metal de color blanco plateado que por lo general se obtiene a partir del mineral de hierro (óxido de hierro, Fe_2O_3) mediante una reducción reaccionando con el Carbono (coque, C), de acuerdo con la siguiente reacción:



En la actualidad este proceso se realiza casi en su totalidad en las instalaciones conocidas como altos hornos, que se muestran en la fig 2

SELECCION DE MATERIALES

Debe hacerse de acuerdo a recomendaciones de los Códigos aplicables, dimensiones estándar y especificaciones establecidas de materiales - También deben tomarse en consideración los requerimientos de servicio y considerar los efectos de las condiciones como corrosión, incrustación, fatiga térmica o mecánica, fluencia, tenacidad de ranuras e inestabilidad metalúrgica a altas temperaturas.

2.- PROPIEDADES DE MATERIALES

La aplicación de materiales en las diferentes industrias está basada por lo general en idénticas o muy similares consideraciones de diseño - Se emplean materiales de las mismas propiedades mecánicas y químicas, composición química y estructura metalúrgica. ²

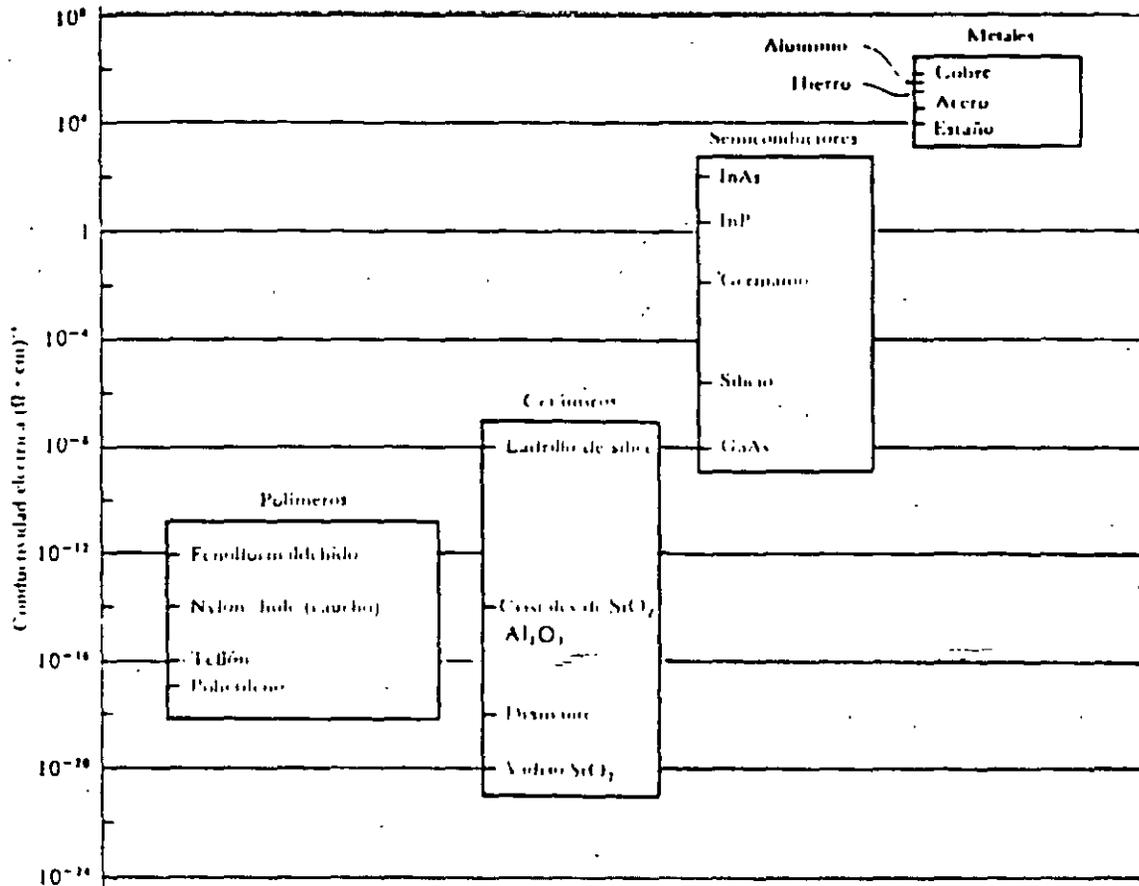


FIG. Se observan diferencias extremadamente grandes en cuanto a conductividad eléctrica entre las diferentes categorías de materiales.

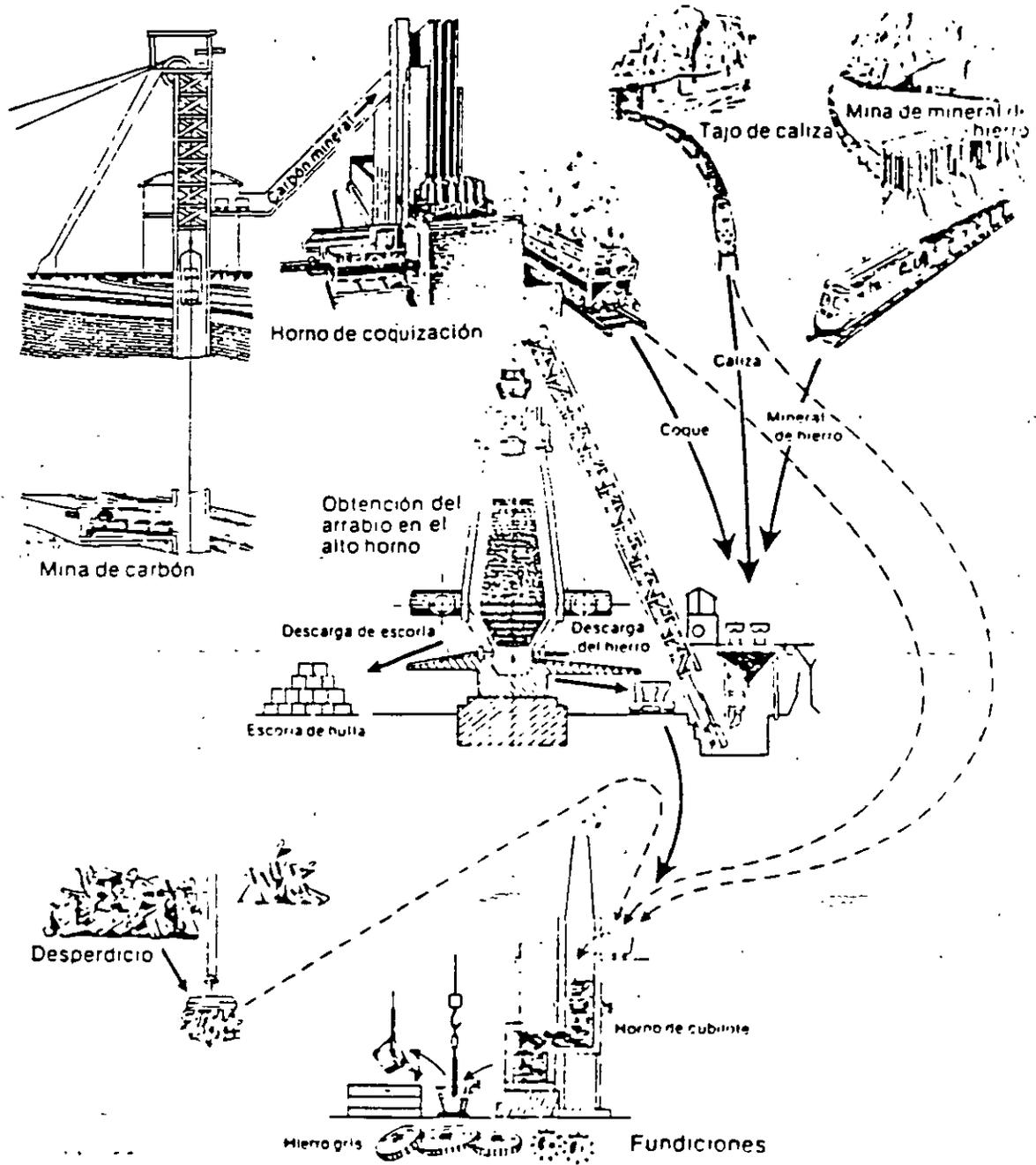


Figura Proceso de fabricación del acero

Las operaciones de fabricación como doblado, soldado y tratamiento térmico, involucran procedimientos idénticos que dependen de la cantidad final deseada y no de su aplicación.

La inspección por radiografías, ultrasonido u otras técnicas, no se diferencian por ejemplo, entre la aplicación nuclear y las plantas de potencia.

PROPIEDADES MECANICAS

Las propiedades físicas incluyen específicas y bien establecidas propiedades mecánicas como por ejemplo:

- resistencia a la tensión
- resistencia a la fluencia o cedencia
- alargamiento

Por lo general estas propiedades están bien cubiertas en las especificaciones aplicables de materiales, sin embargo, existen otras propiedades mecánicas que pueden ser de interés y que pueden dar una importante orientación en la selección de materiales, trabajabilidad del material, soldabilidad y comportamiento en el servicio

Los metales pueden romperse, doblarse, torcerse marcarse con indentaciones, rayarse, y dañarse en otras formas - Algunos metales pueden rayarse con la uña, mientras que otros soportan horas de golpeo contra una roca sólida - Con propiedades tan variables, se vuelve un problema expresar exactamente en unas cuantas palabras que tipo de servicio puede soportar una pieza de metal sin fallar.

Resistencia de los Metales

Resistencia, o resistencia mecánica, es la capacidad de un metal para oponerse a su destrucción bajo la acción de cargas externas; el valor de la resistencia indica la fuerza que se requiere para vencer los ligamentos que mantienen unidas las moléculas que forman las estructuras de los cristales - Dos de éstas cargas (tensión y compresión) se determinan por medio de una máquina universal de pruebas, es decir, una máquina capaz de producir tanto fuerzas de tensión como fuerzas de compresión, la probeta normal de uso mas frecuente para pruebas de tensión es una barra redonda.

Elasticidad.

La mayoría de los metales no se rompen en forma repentina, a medida que se aplica gradualmente la carga en una máquina para pruebas de tensión, se ve que la probeta se estira durante algún tiempo - Luego se produce la formación de un cuello o "estricción" en algún punto, y por último, al aumentar la carga se rompe - El estiramiento que se observa en una prueba de esta naturaleza no es uniforme; al principio es un estiramiento elástico, y mas tarde un estiramiento permanente.

Si se toma un trozo de caucho y se estira, regresa a su tamaño original tan pronto se le suelta; si se estira con mas fuerza, saltará, sin embargo, sea cual fueré la fuerza que la estire, tuerza o aplaste, mientras no se rompa, regresará a su tamaño original al suprimir la fuerza .

Hasta cierto punto, los metales se comportan como el caucho: son elásticos - Se estiran, se doblan, o se tuercen bajo la acción de una fuerza, y regresan a su tamaño original cuando se suprime la fuerza, en la misma forma, pero no en el grado que lo hace un trozo de caucho.

Cuando el caucho llega al término de su elasticidad, se rompe, pero la mayoría de los metales no se rompen al llegar a su límite elástico, sino que siguen estirándose por algún tiempo antes de romperse. - Cuando el límite elástico, los metales se comportan como un chicloso: cambian de forma con la fuerza, sin embargo, cuando se suprime la fuerza, no se regresan a la forma original sino que quedan deformados permanentemente.

Cuando actúa una fuerza sobre una parte metálica, tirando de ella, torciéndola doblándola o aplastándola (comprimiéndola), la pieza cambia de forma elásticamente durante un tiempo, o hasta que la fuerza llegue al límite elástico del metal, momento en que lo deforma permanentemente. - El límite elástico es, por lo tanto el punto en que comienza la deformación permanente; en las aplicaciones industriales, se determina aproximadamente este punto, y se expresa como el punto de fluencia o como resistencia a la fluencia del metal. -

Ductilidad.

Un material dúctil es aquel que puede deformarse permanentemente sin romperse o sin fallar; es frecuente que el término ductilidad se use incorrectamente. - El hecho de que un metal se doble con facilidad no significa necesariamente que sea dúctil, a menos que tal doblez represente una deformación permanente, por ejemplo, un resorte puede ser flexible y doblarse fácilmente, y sin embargo, sólo puede soportar una pequeña deformación permanente sin romperse. - Se dice que tal resorte tiene baja ductilidad; como se mencionó, el caucho es elástico, pero los chiclosos y el chicle son dúctiles. - Todos los metales son a la vez elásticos y dúctiles en cierto grado.

Existen en uso común cuatro métodos para medir la ductilidad. - En uno de éstos, la ductilidad puede expresarse como la magnitud de estiramiento permanente (en una distancia de 2 pulg) que soporta una parte en una prueba de tensión. - El segundo método para medir la ductilidad utiliza la diferencia entre el área original de la sección transversal y el área mas pequeña en el punto de ruptura en una prueba de tensión; la ductilidad se expresa como un porcentaje de la sección transversal original (la diferencia entre las dos áreas se divide entre el área). - El tercer método emplea una prueba de doblez libre para una determinación comparable. - Al cuarto método se le llama prueba guiada de doblez.

Fragilidad

La fragilidad es la propiedad contraria a la ductilidad. - Los materiales frágiles son sustancias que fallan sin deformación permanente apreciable. - Una sustancia frágil tiene también baja resistencia al choque o al impacto, es decir, a la aplicación rápida de fuerzas; un ejemplo de metal frágil es la fundición blanca ordinaria de hierro.

Tenacidad

Tenacidad es la propiedad de un metal que le permite soportar esfuerzo considerable, aplicado lenta o súbitamente, en forma continua o intermitente, y deformarse antes de fallar. - La prueba que se usa con mas frecuencia para determinar la tenacidad de los metales es la prueba de impacto. - En ésta prueba se corta una probeta rectangular en la parte que se va a probar. - La resistencia al impacto se mide en kg-m, se coloca la probeta en la máquina y el operador suelta un péndulo pesado que oscila desde una altura estándar para golpear la probeta.

La resistencia de la probeta se determina por la cantidad de energía necesaria para romperla o doblarla. - La distancia de la oscilación del péndulo después de haber roto la probeta indica la cantidad de energía que se gasto en romperla; si no hay probeta en esta máquina el péndulo oscila hasta a la lectura cero de la escala. - Cuando mas tenaz es el metal de la probeta que se rompe por el golpe, mas corta es la distancia

que recorre el péndulo pasando el punto de impacto; cuando mas corta es esta distancia, mayor es la lectura de la escala.

Dureza.

La palabra dureza significa cosas diferentes para distintas personas. - El metalurgista piensa en la dureza como la capacidad de un material para resistir la indentación o la penetración. - El mineralogista piensa en la dureza como la capacidad de un material para resistir la abrasión o la rayadura - Un aparatista de taller, considera la dureza como un indice de maquinabilidad. -

Desde el punto de vista metalúrgico, la razón principal para hacer una prueba de dureza es que suministra información sobre otras propiedades por ejemplo la resistencia a la tensión de un material está relacionada directamente con la dureza (tabla 1)

Las pruebas de dureza se hacen a un costo muy bajo y no son destructivas; una prueba de dureza puede sustituir a las mas difícil y destructiva prueba de tensión.

En general, de dos metales de composición similar, el de mayor dureza tiene mayor resistencia a la tensión, menor ductilidad, y mayor resistencia al impacto y al desgaste abrasivo.

La dureza elevada indica también una baja resistencia al impacto. aunque algunos aceros que han recibido un tratamiento térmico correcto tienen tanto una alta dureza como una buena resistencia al impacto

las pruebas de dureza se usan mucho para verificar la uniformidad del material de las partes metálicas durante la producción, cualquier falta de uniformidad es revelada rápidamente por su excesiva dureza o por su excesiva blandura. -

La prueba Brinell es el método comercial mas antiguo para determinar la dureza por indentación; en ésta prueba se presiona una esfera de acero de 10 mm de diámetro sobre la superficie del metal, aplicando una fuerza de 3,000 kg -A continuación se mide el diámetro de la impresión usando un microscopio especial, y se convierte la lectura en el número de dureza Brinell, consultando una tabla - El hierro dulce tiene una dureza Brinell de aproximadamente 100, y el acero duro para limas de aproximadamente 600.

La dureza es una propiedad con la que debe estar familiarizado perfectamente el soldador, el calor de la soldadura puede cambiar la dureza de los metales que estén soldando y el resultado final puede ser una diferencia de dureza entre el metal de soldadura depositado y el metal de base - Una diferencia en la dureza indica por lo general una diferencia en la resistencia o en alguna otra propiedad o propiedades - Mediante el estudio de la metalurgia de la soldadura, puede aprenderse mas sobre las causas de la dureza y la forma de controlarla. - En muchos casos, no acompaña al proceso de soldadura ningún cambio ni diferencia en la dureza, en cuyas situación no hay motivo de preocupación en cuanto al control de dureza. -

Las propiedades mecánicas de interés que proporcionan orientación importante en la selección de materiales, trabajabilidad de material, soldabilidad y comportamiento en el servicio, son:

- tenacidad
- dureza
- módulo de elasticidad
- resistencia a la fluencia

Tabla Relación entre la dureza y la resistencia a la tensión

Nº. DE DUREZA BRINELL	ROCKWELL C	Nº. DE DUREZA SHORE (ESCLEROSCOPIO)	RESISTENCIA A LA TENSION 1000 LB/PLG ²
898	—	—	440
857	—	—	420
817	—	—	401
780	70	106	384
745	68	100	368
712	66	95	352
682	64	91	337
653	62	87	324
627	60	84	311
601	58	81	298
578	57	78	287
555	55	75	276
534	53	72	266
514	52	70	256
495	50	67	247
477	49	65	238
461	47	63	229
441	46	61	220
429	45	59	212
415	44	57	204
401	42	55	196
388	41	54	189
375	40	52	182
363	38	51	176
352	37	49	170
341	36	48	165
331	35	46	160
321	34	45	155
311	33	44	150
302	32	43	146
293	31	42	142
285	30	40	138
277	29	39	134
269	28	38	131
262	26	37	128
255	25	37	125
248	24	36	122
241	23	35	119
235	22	34	116
229	21	33	113

Nº. DE DUREZA BRINELL	ROCKWELL C	Nº. DE DUREZA SHORE (ESCLEROSCOPIO)	RESISTENCIA A LA TENSION 1000 LB/PLG ²
223	20	32	110
217	18	31	107
212	17	31	104
207	16	30	101
202	15	30	99
197	13	29	97
192	12	28	95
187	10	28	93
183	9	27	91
179	8	27	89
174	7	26	87
170	6	26	85
166	4	25	83
163	3	25	82
159	2	24	80
156	1	24	78
153	—	23	76
149	—	23	75
146	—	22	74
143	—	22	72
140	—	21	71
137	—	21	70
134	—	21	68
131	—	20	66
128	—	20	65
126	—	—	64
124	—	—	63
121	—	—	62
118	—	—	61
116	—	—	60
114	—	—	59
112	—	—	58
109	—	—	56
107	—	—	56
105	—	—	54
103	—	—	53
101	—	—	52
99	—	—	51
97	—	—	50
95	—	—	49

- resistencia a alta temperatura
- coeficiente de expansión
- otros

Las propiedades mecánicas (o físicas como a veces se les llama) de materiales, son aquellas propiedades que están asociadas con las reacciones elásticas e inelásticas cuando se les aplica una fuerza, o que involucran las relaciones entre esfuerzo y deformación.

RELACIONES ESFUERZO - DEFORMACIÓN

Un esfuerzo de tensión es el que resiste a una fuerza tendiendo a separar el cuerpo.

Un esfuerzo de compresión es el que resiste a una fuerza tendiendo a prensar o aplastar un cuerpo

Un esfuerzo cortante es uno que resiste a una fuerza tendiendo a hacer que una capa de un cuerpo se deslice a través de otra capa

Un esfuerzo torsional es una forma de esfuerzo cortante que resiste a un momento tendiendo a torcer a un cuerpo.

En la Fig se muestran éstos tipos de esfuerzos

Los esfuerzos de tensión y compresión pueden desarrollarse en un material ya sea por la acción directa de una fuerza o por un momento flexionante - Los varios tipos de esfuerzos mencionados frecuentemente ocurren en combinación

Diagrama Esfuerzo - Deformación

Es un diagrama en el cual los correspondientes valores de esfuerzo y deformación se grafican uno contra el otro - Por lo general los valores de esfuerzos se grafican como ordenadas (verticalmente) y los valores de deformación como abscisas (horizontalmente), según Fig

Límite Elástico. - Es el esfuerzo mas grande al cual el material es capaz de soportar o sostenerse sin deformación permanente después de que se le releve completamente del esfuerzo - Es el primer esfuerzo en un material, menor que el máximo esfuerzo soportable, al cual ocurre un incremento en la deformación sin un incremento en el esfuerzo

Límite de proporcionalidad. - Es el esfuerzo mas grande al cual un material es capaz de soportar sin ninguna desviación de proporcionalidad, de esfuerzo a deformación (ley de hooke).

Resistencia a la Fluencia - Es el esfuerzo al cual un material exhibe una desviación específica limitada de la proporcionalidad esfuerzo- deformación, la desviación se expresa en términos de deformación.

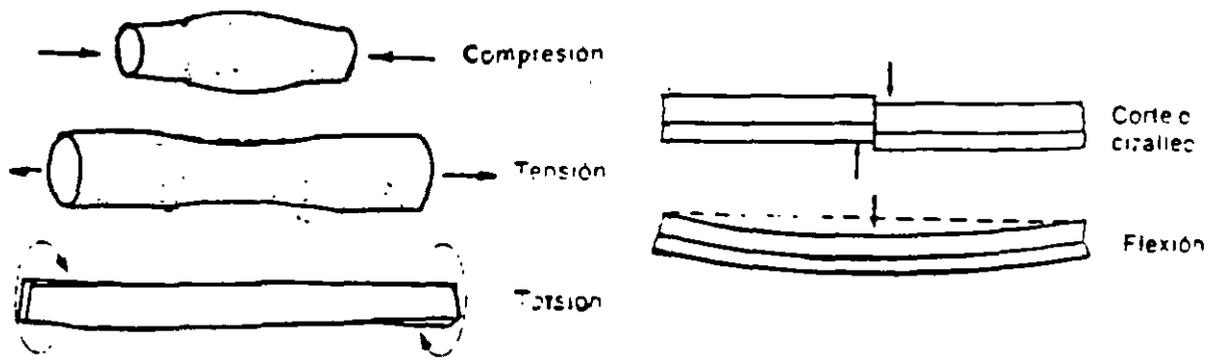


Figura Resultados de las fuerzas externas aplicadas a los metales

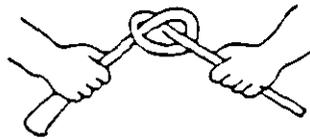


Figura Ductilidad: deformación permanente sin falla.

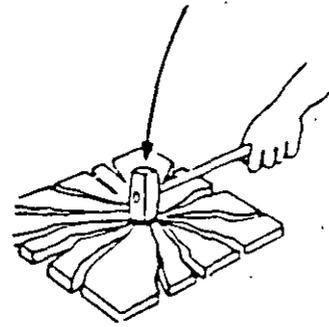


Figura Fragilidad: falla de un material sin deformación apreciable

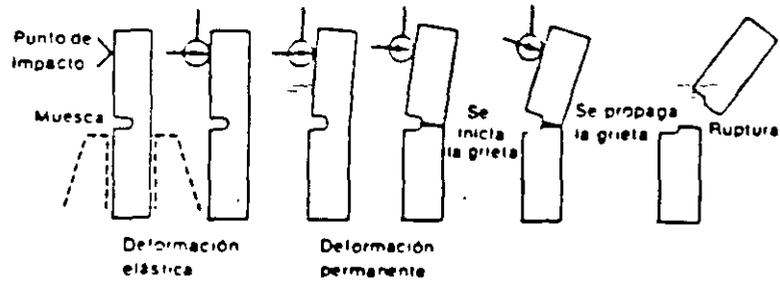
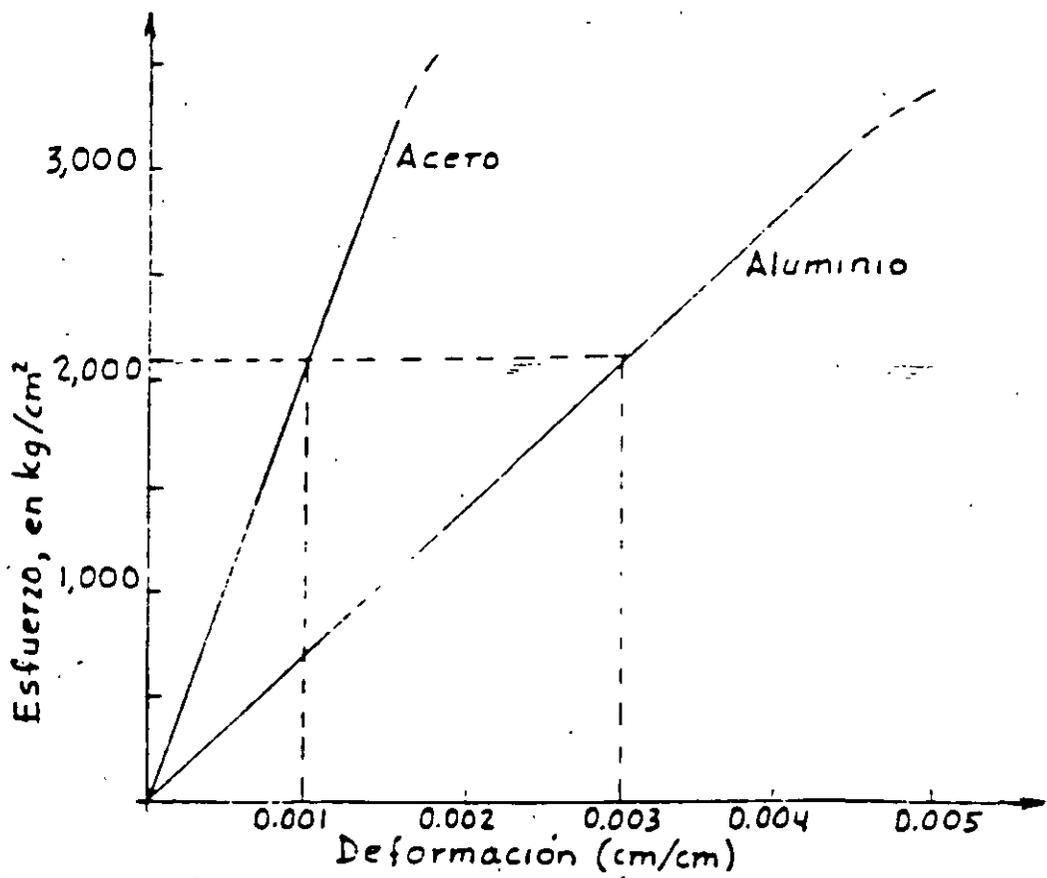
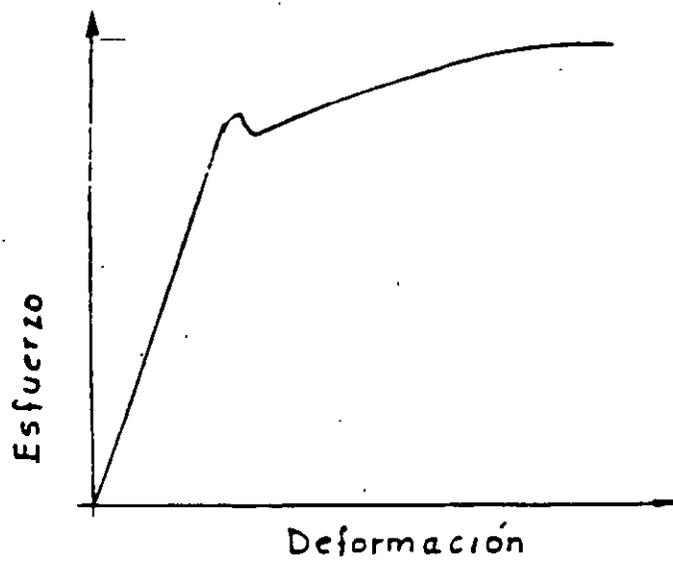


Figura Probeta para prueba de tenacidad en el proceso de deformación por impacto por medio del péndulo del probador



Comparación de comportamiento elástico (Acero - Aluminio)

FIG . DIAGRAMAS DE ESFUERZO DEFORMACION

Resistencia a la Tensión.- Es el máximo esfuerzo de tensión que un material es capaz de soportar - La resistencia a la tensión se calcula de la máxima carga durante una prueba de tensión llevada hasta la ruptura y el área de la sección transversal original de la probeta.

Resistencia de corte - Es el máximo esfuerzo cortante que un material es capaz de soportar - La resistencia al corte se calcula de la máxima carga durante una prueba de torsión y se basa en la dimensión original de la sección transversal de la probeta

Carga de Ruptura. - Es la carga a la cual ocurre la fractura.

Ductilidad - Es la propiedad de alargamiento o de elongación arriba del límite plástico, bajo esfuerzo de tensión - La medida de ductilidad es el % de alargamiento de la barra de prueba fracturada sobre la longitud inicial (2 a 8%)

Elongación.- Es el incremento en la longitud de la probeta de un espécimen bajo prueba de tensión, usualmente expresado como el % de la longitud original de la probeta

Módulo de Elasticidad - Es la relación entre el esfuerzo y la deformación correspondiente, abajo del límite de proporcionalidad - Hay módulos de elasticidad en tensión, en compresión y en cortante - El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez de un material y determina la pendiente de la línea de esfuerzo - deformación - La elasticidad es la propiedad que permite a los cuerpos deformados recuperar su forma original después que se les remueve la carga.

El módulo de elasticidad cambia con la temperatura (disminuye con el aumento de temperatura) - Este cambio es de importancia cuando se considera la deformación bajo carga, y es de especial significado en relación con el estudio de esfuerzos y de reacciones resultantes de expansión térmica

Dureza - Es la propiedad de los metales que les permite resistir el rayado, indentación y abrasión - El hecho de que haya una relación definida entre la dureza y la resistencia a la tensión de los metales, es importante porque se puede estimar aproximadamente la resistencia a la tensión con una muy simple y económica prueba de dureza.

Tenacidad - Es la habilidad de un material a resistir impactos o a soportar repetidos e inversiones de esfuerzos, o a absorber energía cuando se esfuerza mas allá del límite elástico

PROPIEDADES FISICAS

Normalmente se entiende como propiedades físicas a aquellas diferentes a las propiedades mecánicas, que se relacionan con la físicas del material, éstas propiedades incluyen las siguientes

- densidad
- expansión térmica (o contracción)
- conductividad térmica
- conductividad eléctrica -

PROPIEDADES METALÚRGICAS

El conocimiento de las propiedades metalúrgicas de los materiales es de mucha importancia para conocer sus propiedades mecánicas y físicas - Las consideraciones metalúrgicas cubren el rango completo desde la extracción de los metales de sus minerales hasta su utilización última, esto incluye lo siguiente:

- fusión de metales
- fundición
- forjado
- trabajado
- características de formado y unión
- respuesta al tratamiento térmico
- efecto del ambiente del servicio.

Aun después de que los componentes han sido instalados y estén en servicio, las consideraciones metalúrgicas pueden aplicarse, como por ejemplo en lo siguiente:

- limpieza química
- fluencia a alta temperatura
- fragilidad de muescas a baja temperatura

Cuando ocurren fallas, las técnicas metalúrgicas están entre las principales herramientas empleadas para evaluar las causas de falla y determinar soluciones y remedios

El conocimiento metalúrgico es necesario para la apropiada utilización económica de los metales, en el establecimiento de la apropiada fabricación, soldadura, tratamiento térmico y procedimientos de limpieza - También es útil para los inspectores, para comprender las características metalúrgicas de los materiales que están siendo inspeccionados, y reconocer su susceptibilidad hacia la fragilización, roturas, propagación de fallas y corrosión.

Estructura de los Metales.

La base de la metalurgia de materiales, es una comprensión de la estructura de metales, en estado sólido, esto implica el orden de arreglo de los átomos de que todos los metales están compuestos - Los átomos están arreglados en espacios llamados redes o retículas, de los catorce (14) posibles tipos de espacios reticulares, únicamente tres son de importancia primaria - Estos representan los metales y aleaciones normalmente relacionados con los materiales comerciales, y que son:

- Cúbico Centrado en el Cuerpo CCC
- Cúbico Centrado en las Caras CC

• Hexagonal Empaque Cerrado HEC

Algunos metales como el hierro, titanio, cobalto, y estaño, pueden presentarse en dos o más estructuras reticulares; éstos metales sufren cambios de un tipo de estructura a otra cuando son calentados (o enfriados) arriba (o abajo) de temperaturas específicas. - Estos cambios en la estructura reticular es una razón principal de la importancia de las aleaciones a base de hierro.

Se puede obtener una gran variedad de propiedades causando cambios en la estructura reticular; el tratamiento térmico es la técnica primaria usada para realizar dichos cambios

La adición de un átomo "extraño" al metal puro puede tener varios efectos, en alguna de las siguientes circunstancias:

- El átomo puede localizarse entre los átomos existentes en la red y así ocupa una posición intersticial; pequeños átomos como el hidrógeno y carbono pueden entrar de esta forma -
- Un átomo extraño puede también reemplazar a un átomo en la estructura reticular del metal "puro", en cualquier caso el átomo extraño es considerado "disuelto" o en "solución" y forma una intersticia o sustitucional solución, respectivamente -
- Otra forma implica una combinación directa del átomo agregado con los átomos en el espacio reticular para formar una estructura de cristal diferente.

Los átomos extraños pueden estar presentes sin intención como trazas de elementos o residuales, o pueden ser agregados a propósito por razones específicas como:

- Elementos de aleación
- Desoxidación
- Mejor fluidez durante el colado
- Mejorar la maquinabilidad o soldabilidad
- Producir otras propiedades o efectos deseados

En ocasiones, pequeñas fracciones de un porcentaje de un elemento cuando se agrega al metal produce cambios mayores en las propiedades metalúrgicas, físicas o mecánicas del metal, en otras aleaciones, son necesarias grandes adiciones -

Por lo general los metales comerciales consisten de muchos granos individuales, que se forman originalmente sobre la solidificación desde el estado de fusión - En la condición de "como se funde" o "como se solda" frecuentemente estos granos aparecen internamente como dendritas

En esencia, límites o fronteras entre granos representan imperfecciones en el arreglo ordenado de la red -

Algunos elementos presentes ya sea como elementos de aleación o como impurezas tienden a segregarse a lo largo de las fronteras de los granos, y bajo estas condiciones, pueden reducir

significativamente la resistencia o ductilidad del metal o puede bajar su resistencia a la corrosión u oxidación.-

Bajo algunas condiciones de formado en caliente o soldado, las roturas pueden iniciarse en las fronteras de los granos.-

El trabajo en caliente o en frío tiende a romper los granos originales y producir refinamientos, particularmente a temperaturas elevadas; temperaturas excesivas pueden efectuar un crecimiento del grano haciéndolo burdo o basto - Con metales y aleaciones sujetos a cambios en la estructura reticular, el refinamiento del grano puede efectuarse por tratamiento térmico -

DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO

Los diagramas de equilibrio o de fase se realizan extensivamente por los metalurgistas para mostrar en forma gráfica las relaciones de fase que exhiben las aleaciones a diferentes temperaturas -

Se han determinado numerosos diagramas de equilibrio para muchas combinaciones de metales comerciales y experimentales, el mas conocido y mas ampliamente usado es el diagrama de hierro-carbono, mostrado en la Fig. 6

A temperatura ambiente, los átomos de hierro están arreglados en la red en la forma Cubica Centrada en el cuerpo (CCC), que es magnética y que se conoce como hierro alfa (α).

A 910°C (1670°F) de temperatura el hierro puro se transforma de red CCC a Cubica Centrada en las caras (CC), que se conoce como hierro gama (γ) y que no es magnético

A 1390°C (2535°F) de temperatura, la estructura reticular CC se convierte en arreglo CCC y se conoce como ferrita delta (δ)

Los cambios anteriores se conocen como modificaciones alotrópicas; la temperatura a la cual el hierro alfa cambia a hierro gama se refiere como de transformación A_3 o puntos críticos, la adición de carbono baja la temperatura de transformación A_3 hasta que el contenido de carbono alcanza 0.85%

Cuando el hierro alfa se transforma a austenita los carburos de hierro Fe_3C van dentro de la solución, esta se conoce como la transformación A_1 , y es reversible. En el enfriamiento, los carburos de hierro tienden a formarse de nuevo, estos constituyentes de carburos de hierro, generalmente se describen como "perlita" -

Bajo condiciones de equilibrio las temperaturas de transformación deben ocurrir a la misma temperatura, sea que el acero esté siendo calentado o enfriado, sin embargo, generalmente ocurre un retraso en la obtención de las condiciones de equilibrio en calentamiento, los puntos A_1 y A_3 tienden a ser altos, mientras que en enfriamiento tienden a ser más bajos.

De acuerdo con lo anterior, los puntos críticos A_1 y A_3 se modifican con las letras r y c para indicar enfriamiento o calentamiento respectivamente -

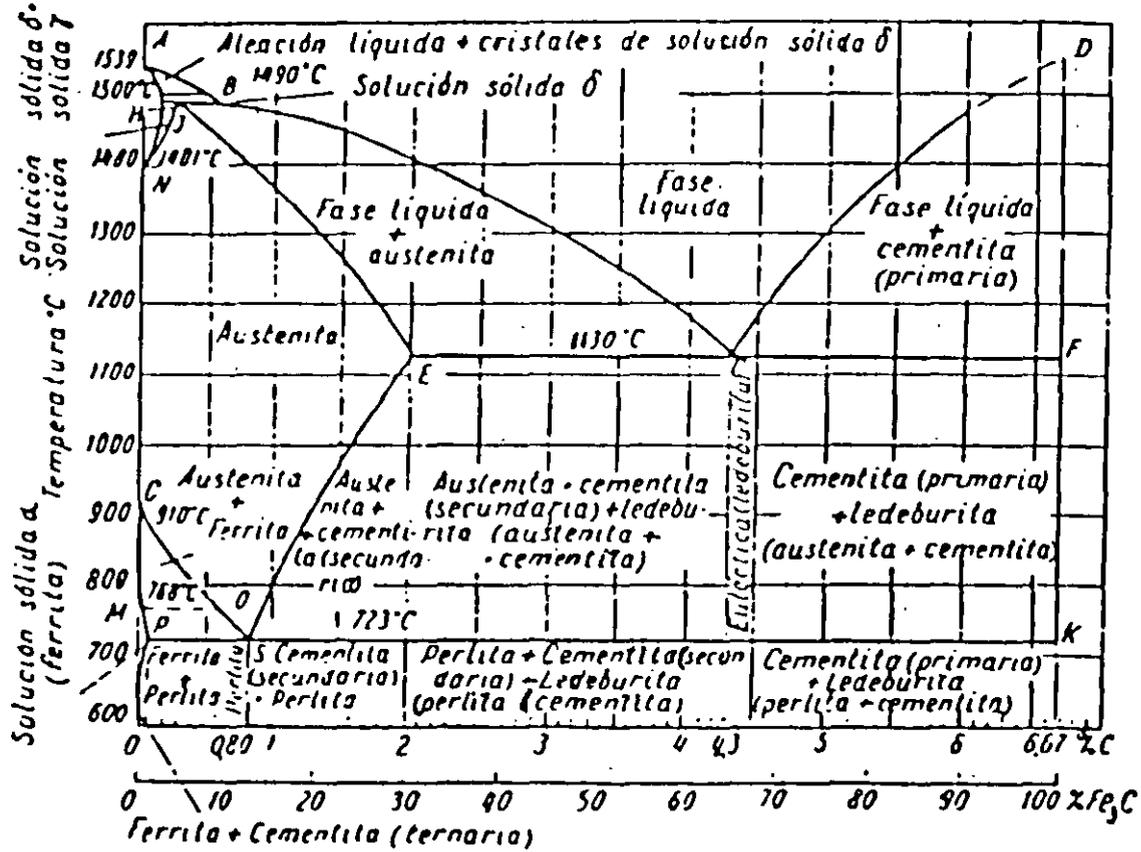


Fig. . Diagrama de estado hierro — carbono.

En calentamiento lento, la transformación empieza en A_{c1} y se completa en el punto A_{c1} , y cuando se enfria, la transformación empieza en el punto crítico A_{r3} y se completa en el punto A_{r1} .

Si el régimen de enfriamiento es suficiente rápido, la austenita no sufre la transformación a Ferrita y perlita a través del rango $A_{r3} - A_{r1}$; bajo éstas condiciones se retiene hasta que se alcanza la temperatura de 315°C (600°F) o menor. - A estas temperaturas, la austenita empieza a transformarse a un constituyente acicular duro descrito como "martensita"

La transformación de austenita a martensita en el inicio del enfriamiento en el punto de M_s se completa en el punto M_f , el rango de temperatura de formación de austenita es característica de un determinado acero, y no es afectado por el régimen de enfriamiento.

Los elementos de aleación pueden alterar significativamente los puntos A_1, A_3 , Y M_s , y las relaciones de equilibrio.

El reconocimiento de los puntos críticos es importante en la fabricación de piezas y tubería, recomendándose lo siguiente:

- El formado en caliente no debe ser hecho a temperaturas entre los puntos A_1 Y A_3
- La normalización debe hacerse arriba de las temperaturas A_{c3}
- El relevado de esfuerzo o revenido (templado) debe hacerse abajo de las temperaturas A_{c1} -

II.- RECOMENDACIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO DE CALDERAS

Cuando una caldera esta limpia y hermética o estanca, tiene un mantenimiento apropiado; a primera vista esto parece simple, pero "limpia y hermética" se aplica a todo el campo del mantenimiento de la caldera.

"Limpia" se aplica tanto al interior como al exterior de los tubos, cubierta y domos, así como a paredes, baffles y cámara de combustión. "Hermética" se refiere a toda la sección de presión, montaduras, baffles, etc.

Cuando las superficies de calentamiento de una caldera están libres de incrustación en el lado del agua y de depósitos de hollín y cenizas en el lado de gases, entonces rápidamente absorbe calor, y cuando la caldera está libre de fugas de agua y vapor, fugas de aire, fugas de aire en las montaduras y fugas de gases a través de los baffles, entonces la caldera está en excelentes condiciones, sin embargo, en la operación completa también se debe considerar el equipo de combustión, los accesorios y los auxiliares

Las calderas se construyen de diferentes materiales para soportar las condiciones encontradas en el servicio, los revestimientos refractarios en el hogar tienen muy poca resistencia a la tensión, pero pueden soportar altas temperaturas y resistir la acción penetradora de la ceniza. Por otra parte, el acero empleado en las partes a presión tiene alta resistencia a la tensión, sin embargo, se debe ejercer mucho cuidado para asegurar que no se exceden sus límites de temperatura

El diseñador de calderas debe seleccionar los materiales para las varias partes de la caldera que sean adecuados para los requerimientos específicos, si la selección de materiales es correcta y la unidad se mantiene y opera de acuerdo con la buena práctica reconocida, el servicio será satisfactorio. Cuando fallas de operación, temperaturas excesivas u otras condiciones anormales causan que se excedan los límites de seguridad del material, las fallas ocurrirán rápidamente y el equivalente a años de deterioro normal puede tener lugar en corto tiempo.

Es imposible predecir el efecto del bajo nivel de agua sobre el mantenimiento, si únicamente los extremos superiores de los tubos son los expuestos, el efecto del problema es solo fugas en las juntas expandidas. Esto puede ser corregido por una re-expansión, siempre que el inspector haya decidido que el metal en el tubo y en el espejo del tubo no se hayan dañado. Por otra parte, el bajo nivel de agua puede necesitar un trabajo completo de re-entubado o aún causar una explosión de la caldera, matando personal y causando desastres en la planta.

El medio mas efectivo de conservar la caldera en operación es el de prestar atención al nivel de agua; los cambios rápidos en la temperatura causan expansión desigual, que pueden resultar en fugas de agua y vapor en la sección de presión de la caldera, y fugas de aire y gases en la montadura y baffles.

Se ha encontrado que el sacar de servicio y volver a arrancar una caldera con mucha frecuencia y rapidez incrementa el mantenimiento mas que muchas horas de servicio y grandes cantidades de vapor generado; con objeto de reducir las salidas y el mantenimiento, siempre debe darse tiempo para que la temperatura cambie lenta y uniformemente

La distribución desigual de la combustión en el hogar, referida algunas veces como choque (impingement) de flama, puede resultar en varias dificultades; a pesar de que el régimen promedio de combustión pueda no exceder la especificación del fabricante, se pueden sobrecargar porciones localizadas del hogar. Esto causará altas temperaturas, formación de escoria y falla rápida del revestimiento del hogar. Casos severos de choque de flama, cuando son acompañados por mala circulación de agua en la caldera o por depósitos de incrustación, resultan en tubos de agua quemados, en hogares enfriados con agua de alto régimen, se ha encontrado que la superficie exterior de los tubos se corroe hasta que se vuelven tan delgados que se queman. Este tipo de fallas ha ocurrido cuando los hogares se operan a alta temperatura y con bajo o cero % de exceso de aire, el choque de flama se previene con un mantenimiento y operación correctos del equipo de combustión.

Cuando se tienen depósitos de incrustación en los tubos y cubiertas de la caldera, el agua no puede remover el calor y el metal alcanza una temperatura suficientemente alta que reduce su resistencia a la tensión, dependiendo de las condiciones, esto puede causar una ampolla, falla del tubo o explosión de la caldera. El sobrecalentamiento hace necesario re-entubar la caldera, parchar las piernas de agua, cabezales y domo; el mejor método de evitar estas dificultades es el acondicionamiento del agua de caldera para prevenir la formación de incrustaciones

Cuando una pérdida de equipo o la operación descuidada permite que se forme incrustación, ésta debe ser removida porque de otra forma resultará pérdida de eficiencia y salida de la caldera; las calderas deben programarse para sacarlas de servicio para limpieza, antes de que sean forzadas por fallas de tubos. Hay dos métodos para remover la incrustación de las superficies de calentamiento de las calderas:

· mecánico, que consiste en pasar un cortador o un golpeador, impulsado con potencia o motorizado, a través de los tubos

químico, que usa materiales que disuelven parcial o totalmente la incrustación, es decir, la remueve de las superficies.

Los limpiadores mecánicos consisten de pequeños motores impulsados con vapor, aire o agua; el motor es suficientemente pequeño para pasar a través del tubo que va a ser limpiado. Una manguera conectada a un extremo del motor sirve para dos propósitos

- suministro de vapor, aire o agua,
- un medio por el cual el operador "alimenta" la unidad a través del tubo y la saca cuando se completa la limpieza

En la Fig a, se muestra un limpiador de tubos con una cabeza golpeadora, para uso en calderas de tubos de humo, la rotación del motor del limpiador causa que la cabeza vibre en el tubo con suficiente fuerza para romper la incrustación dura del exterior. Esta cabeza golpeadora es algunas veces efectiva para remover la incrustación muy dura de las calderas de tubos de agua.

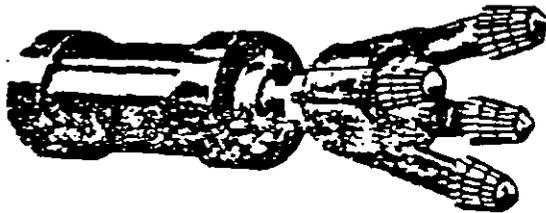
En la Fig b, se muestra una cabeza cortadora que se emplea mas frecuentemente en la limpieza de incrustación en las calderas de tubos de agua, las cabezas de éste tipo tienen un cierto número de cortadores hechos de acero de herramienta mucho muy duro. Las cabezas se giran a alta velocidad, y la fuerza resultante presiona al cortador contra la superficie interior del tubo, aplastando y cortando la incrustación

Cuando se emplean limpiadores mecánicos de tubos para quitar la incrustación de tubos, se deben tomar varias precauciones para obtener los mejores resultados:

- el motor limpiador de tubos debe ser del tamaño correcto para ajustarse al tubo,
- están disponibles arreglos especiales de motores y juntas universales para la limpieza de tubos curvos,
- el aire comprimido es lo mas satisfactorio para la operación de estos motores a pesar de que a veces se emplea vapor o agua,
- se conecta un lubricador a la entrada de la manguera para suministrar aceite para lubricación del motor,
- durante la operación de limpieza se debe introducir una corriente de agua al tubo para enfriar el motor y la cabeza del cortador y lavar y retirar la incrustación conforme se remueve del tubo;



(a)



(b)

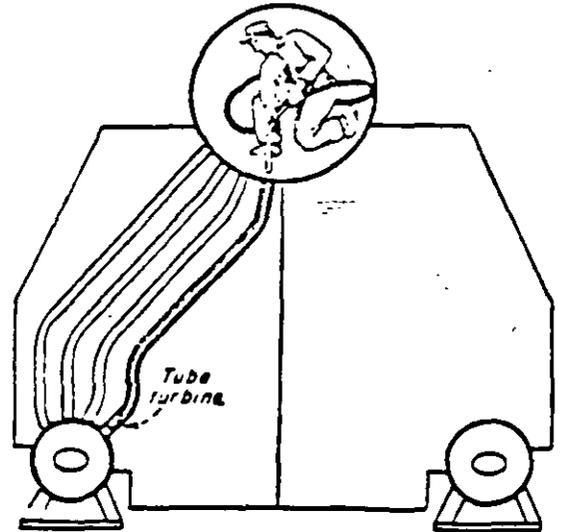
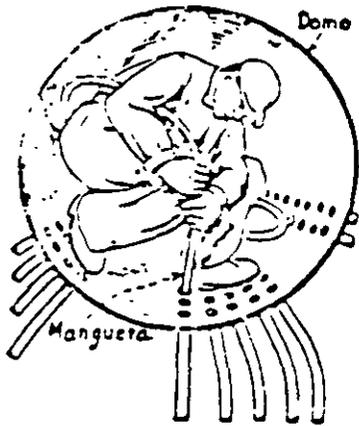
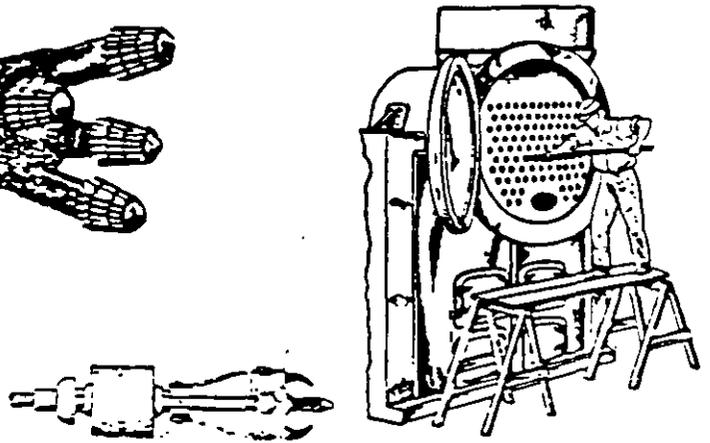


FIG . LIMPIADORES DE TUBOS DE CALDERAS

- . el operador alimenta el limpiador dentro de los tubos conforme se remueve la incrustación,
- . el régimen de alimentación depende de la velocidad a la que se remueve la incrustación y debe determinarse mediante pruebas;
- . los operadores experimentados pueden saber por el sonido del motor cuando el cortador ha quitado la incrustación y está en contacto con los tubos;
- . la inspección de cada tubo se hace alumbrando a través de este y observando el interior,
- . nunca se permita que el limpiador opere en un mismo lugar aún por corto tiempo o se dañará el tubo,
- . en tubos de caldera curvos el operador permanece en el domo superior mientras se está limpiando el tubo;
- . en calderas de tubos rectos las cubiertas de los registros de mano deben retirarse para ganar acceso a los tubos,
- . el domo inferior, los cabezales inferiores y las líneas de purga deben limpiarse completamente para remover la incrustación, antes de que la caldera se regrese a servicio

Los procedimientos de limpieza química han sido aplicados satisfactoriamente al interior de las calderas y cambiadores de calor, éste método de limpieza se adapta particularmente a unidades con tubos curvos o pequeños. La limpieza mecánica es tediosa y consumidora de tiempo, pero la limpieza química puede hacerse en cosa de horas aun en unidades grandes, éste decremento en el tiempo de salida es un factor importante.

La limpieza química es hecha segura y satisfactoriamente por especialistas que suministran un servicio completo, muestras de incrustación se obtienen de los tubos empleando un limpiador mecánico u otro medio adecuado. Estas muestras se analizan y después que ha sido identificado el tipo de incrustación se especifica la solución correcta de limpieza; éstas soluciones consisten de ácidos con materiales agregados conocidos como "aceleradores" para asegurar el ataque sobre la incrustación, y otros materiales conocidos como "inhibidores" para disminuir el ataque sobre el metal de la caldera, es decir la solución se hace selectiva de manera que disuelva la incrustación particular sin corroer la superficie del metal.

La selección de la solución limpiadora involucra un conocimiento no solo de la incrustación sino también del material del cual esta fabricada la caldera o el cambiador de calor; las clasificaciones para la limpieza química incluyen lo siguiente:

- . tipo y concentración de la solución solvente a ser usada
- . cantidad y tipo de acelerador
- . cantidad y tipo de inhibidor
- . temperatura a la cual se aplicará el solvente
- . tiempo que la solución permanecerá en contacto con el material
- . método de aplicación
- . las precauciones de seguridad involucradas son la prevención de que el solvente y la solución neutralizadora entren en contacto con el personal y posible peligro debido a la formación de gases explosivos o venenosos

Para una aplicación efectiva se requiere equipo especial en la forma de traileres tanque, bombas y cambiadores de calor; la unidad que va a limpiarse se llena con el solvente en el menor tiempo posible y entonces se circula el solvente a través de la unidad y el cambiador de calor para mantener la temperatura necesaria

Durante la operación se analiza la solución para checar el avance de la limpieza, cuando los análisis muestran que la unidad está limpia, se remueve el solvente y se introduce la solución neutralizante. Después que la unidad ha sido drenada y lavada con agua, se encuentra lista para el servicio

La limpieza ácida produce buenos resultados, no solo en el tipo usual de incrustación fácil de remover, sino aún las formas difíciles de sílice y plateado de cobre se remueven satisfactoriamente

Los depósitos de compuestos de sílice en las calderas de alta presión han sido muy difíciles de remover con limpiadores mecánicos, el cobre disuelto de los tubos de calentadores de agua de alimentación se deposita en las calderas causando incrustación y corrosión

A diferencia de la limpieza mecánica, la limpieza ácida remueve la incrustación de cabezales, tubos y domos; la limpieza química ha ganado mucho terreno para reducir el tiempo y el trabajo penoso involucrado en la remoción de incrustación y en la actualidad es el método primario de limpieza.

Las calderas se diseñan y construyen para una producción o potencia máxima, pero cuando ésta se excede se incrementa el mantenimiento. Altos regímenes de generación de vapor pueden perturbar o desorganizar la circulación en la caldera, y cuando esto ocurre se tienen las siguientes consecuencias.

- . el calor no es retirado y el metal se sobrecalienta,
- . el alto régimen de flujo de vapor puede causar que se arrastre humedad con el vapor que sale del domo de la caldera,
- . las altas temperaturas de gases pueden quemar o distorsionar los baffles y los ductos,
- . se puede formar escoria en el hogar o en los tubos limitando la combustión y obstruyendo el flujo de gases,
- . altos flujos de gases pueden incrementar la erosión

Aunque se puede obtener una alta capacidad por un corto tiempo, puede ser necesario sacar de servicio la caldera debido a la formación de escoria o la falla de partes vitales del equipo de combustión, por lo que se recomienda operarla dentro de las limitaciones de diseño y evitar capacidades excesivas

La cantidad y distribución correctas del aire de combustión son consideraciones importantes en la reducción del mantenimiento, demasiado aire para la combustión resulta en serias pérdidas de calor en los gases de escape, mientras que insuficiente aire causa excesiva temperatura del hogar y esto puede causar formación de escoria y fallas tempranas en las paredes del hogar, arcos y emparrillados

A pesar de que los sopladores de hollin son valiosos en la remoción de cenizas, hollin y escoria del lado de gases de los tubos, también pueden ser causa de salidas de calderas y mantenimiento; cuando los sopladores de hollin no están ajustados correctamente, el vapor de las toberas erosiona los tubos de caldera y causan fallas. Para prevenir posibles daños de los elementos de sopladores de hollin, se deben ajustar en tal forma que las toberas no soplen directamente contra los tubos y los baffles.

La escoria sobre los tubos de la caldera restringe el flujo de gases y reduce la cantidad de calor que puede ser absorbida; esto tiende a reducir la máxima producción de la caldera y causa alta temperatura del hogar. La formación de escoria puede ser causada por operación incorrecta del equipo de combustión o por combustible no adecuado para el hogar.

Los sopladores de hollin convencionales no son efectivos para remover la escoria de los tubos, por lo que en grandes calderas se instalan elementos especialmente diseñados para remover esta escoria, un tubo conectado a una manguera de aire comprimido y operado a través de las puertas de limpieza puede ser efectivo en la remoción de escoria de los tubos. Esta operación manual de quitado de escoria debe realizarse frecuentemente para evitar que la escoria se "puentee" entre tubos, en algunas ocasiones se rocía agua sobre los tubos para ayudar en la remoción de escoria, pero no se recomienda porque puede dañar los baffles y trabajo refractario. Cuando la escoria está depositada a través de todo el primer paso y puenteada entre los tubos, se recomienda sacar de servicio la caldera para una limpieza completa.

Las calderas dependen de equipo auxiliar para el suministro del agua, combustible y aire necesarios; éstos auxiliares incluyen bombas, emparrillados (stokers), pulverizadores, ventiladores, etc., los cuales bajo condiciones normales tienen que ser reparados ocasionalmente, y frecuentemente cuando no se lubrican en forma apropiada. Los rotores y carcasas de los ventiladores de tiro inducido se desgastan por la acción abrasiva de las cenizas volantes, a menos que sean precedidos por equipos de limpieza de gases como por ejemplo precipitadores electrostáticos o cuartos de bolsas.

Las bombas de agua de alimentación sufren desgaste y se les debe dar mantenimiento a intervalos regulares para asegurar su operación continua.

La tubería, válvulas, controles e instrumentos requieren ajustes y reparación o reemplazo de partes.

La selección y aplicación incorrecta de materiales por el diseñador y fabricante puede resultar en falla prematura de partes y en mucho mantenimiento; cuando hay fallas repetidas que no pueden ser atribuidas a mala operación, entonces el diseño o material, y en algunos casos ambos, deben de cambiarse. Si un arco de un hogar debe reemplazarse frecuentemente, podría ser económico usar un mejor grado de material o instalar paredes de agua

Los trabajos de mantenimiento de la planta de caldera deben realizarse sobre un programa establecido para evitar que el equipo tenga salidas de servicio forzadas por fallas, los trabajos de mantenimiento programado hacen posible tener otras calderas disponibles para llevar la carga o realizar el trabajo cuando las calderas no son requeridas

Adicionalmente las refacciones, herramientas y personal de mantenimiento necesarios deben estar disponibles para realizar el trabajo eficientemente. Por otra parte, en el caso de salidas forzadas, se pierde producción, las refacciones necesarias no están disponibles y probablemente no hay suficiente personal de mantenimiento para el trabajo. En la actualidad se emplean unidades grandes de calderas tanto en las plantas industriales como de potencia, y puesto que sus fallas causan pérdidas de un importante % (en algunos casos 100%) de la capacidad de la planta, es esencial evitar las salidas forzadas

El problema es como pueden evitarse o reducirse al mínimo las salidas forzadas, detalles que parecen sin importancia a veces causan o contribuyen a dificultades mayores, como por ejemplo

la interrupción de la línea de alimentación de químicos al domo de la caldera en si mismo no es importante, pero si la caldera se opera por un periodo sin tratamiento de agua, los depósitos de incrustación resultantes pueden causar la falla de tubos,

un defecto en la alarma de bajo nivel de agua puede resultar en una falla del sostenimiento del nivel de agua y en una explosión de la caldera,

la falla de agua de enfriamiento o aceite en el cojinete del ventilador de tiro inducido puede resultar en falla del cojinete y en una salida de la unidad caldera completa

No hay nada mas que agregar a la impresión de que una planta tiene buen mantenimiento que su limpieza, la buena limpieza es una parte del mantenimiento preventivo. El mantenimiento de una planta limpia requiere de un equipo de trabajo de parte del personal, de la gerencia, mantenimiento, operación y limpieza, el personal de mantenimiento debe comprender que el trabajo de reparación no esta completo hasta que el material viejo y sobrante haya sido retirado

Es deseable asignar un equipo específico y hacerlos responsables de la conservación de la limpieza, y en ésta forma el individuo puede tener orgullo en hacer bien su trabajo o esperar ser reprimido en caso de descuidarlo; éstas asignaciones deben darse con consideraciones cuidadosas para ver que el trabajo se distribuya igualmente entre los responsables. Se debe coordinar el trabajo para evitar que un trabajo de limpieza deposite polvo sobre otro equipo ya limpio; en algunos lugares se sopla el polvo de los motores con aire de una manguera, lo que podría consumir tiempo para limpiar la maquinaria de junto antes de la limpieza de los motores por éste método

La gerencia debe ver que se dé toda la ayuda posible para mantener la planta limpia, es difícil para los operadores conservar el interés en la limpieza cuando equipo impropriadamente diseñado o mantenido continuamente permite descargas de ceniza, aceite, carbón o polvo. En ocasiones el diseño no toma en cuenta la accesibilidad para la limpieza.

Para el trabajo de limpieza se debe tener disponible equipo adecuado, herramientas y suministros, limpiadores por vacío (aspiradoras) son de gran utilidad, y en las plantas de carbón pulverizado se clasifican como una necesidad de seguridad. Gabinetes para herramientas, suministros y lubricantes mejoran la apariencia de una planta y facilitan el trabajo

Se debe establecer un programa de lubricación y uno de mantenimiento preventivo. A pesar de que algunos operadores dependen de la memoria para determinar cuando se debe hacer una inspección, lubricación de un cojinete, etc., y a pesar de que en algunos casos es satisfactorio, en plantas grandes de rápida expansión, por lo general la memoria es inadecuada, tarde o temprano alguna cosa se descuida y resulta en una salida. La base de los programas de lubricación y mantenimiento son las recomendaciones del fabricante y la experiencia en la operación de la planta, no debe dependerse de la memoria

Los objetivos del mantenimiento son los siguientes:

- Aumentar el tiempo medio entre fallas (TMEF)
- Disminuir el tiempo medio de reparaciones (TMR)
- Controlar y optimizar los gastos de mantenimiento

La necesidad de resolver los problemas de mantenimiento es por lo siguiente

- Elevado costo inicial de la instalación y por lo tanto, la necesidad de una utilización completa y racional de la misma, en condiciones de máximo rendimiento
- Repercusión de los paros sobre producción.
- Elevado nivel de mecanización, crecimiento y complejidad de la maquinaria

Las acciones que deben llevarse a cabo para lograr los objetivos, son las siguientes:

- Definición y creación de una estructura de organización adecuada para la preparación de trabajos, plazos, programas y aprovechamiento de materiales
- Realizar intervenciones especializadas, tanto preventivas como correctivas y predictivas.
- Definir y negociar los trabajos que deben realizarse por compañías externas
- Mejorar técnicamente los medios de que el mantenimiento dispone.
- Vigilar que se lleve a cabo capacitación y entrenamiento del personal obrero y de supervisión.
- Colaborar en la puesta en servicio, para adquirir conocimientos de planeación en futuros mantenimientos.
- Difundir el conocimiento de la maquinaria y las instalaciones.
- Colaborar con la experiencia para retroalimentar futuros proyectos
- Participar en la búsqueda de nuevas técnicas organizativas.

- Llevar el historial del mantenimiento en registros simples pero significativo

De lo anterior expuesto, resulta que para lograr los objetivos señalados, los responsables de la gestión del servicio de mantenimiento deben resolver los siguientes problemas.

- Dimensionar adecuadamente los medios técnicos y humanos de mantenimiento.
- Determinar los tipos de mantenimiento a efectuar.
- Decidir los trabajos que van a subcontratarse.
- Determinar la calidad y cantidad de refacciones y de materiales.
- Establecer cuánto mantenimiento preventivo debe efectuarse.

Adicionalmente, el mantenimiento debe vigilar la eficiencia de la caldera, el costo en tiempo y dinero para la renovación de partes desgastadas y las fallas de diseño de equipos.

Por lo anteriormente señalado, puede comprenderse que el mantenimiento pasa de ser una actividad auxiliar, a ser una función que contribuye al nivel de productividad.

Factores más Importantes del Mantenimiento

La función del mantenimiento es la de proporcionar un servicio para mantener el equipo en condiciones operables y seguras, debiéndose cumplir con lo siguiente:

- Rápida respuesta a las necesidades de operación
- Accesible a operación
- Productiva en la relación del trabajo
- Innovativa en la forma de hacer el mantenimiento
- Disciplina para el control de trabajo

Para que la gestión de mantenimiento sea efectiva, es necesario que se construya sobre objetivos realistas que proporcionen políticas positivas para las operaciones de mantenimiento y pueda tenerse un control positivo sobre las circunstancias que lo afectan.

Normalmente el área en la cual falla la gestión de mantenimiento es, la de implementar una política para lograr los objetivos, debido principalmente a la forma de manejo simple a través del cual se intenta implantar políticas sin la valoración plena de los factores externos que tienen influencia sobre esas políticas y prácticas.

Para evaluar un programa de gestión de mantenimiento es esencial que los conceptos del mantenimiento se definan en términos comunes, debiéndose responder a las

preguntas fundamentales de cuáles son los objetivos, como se van a lograr y cómo se medirán los logros.

Típicamente los seis factores que tienen mayor influencia sobre la gestión de mantenimiento, son los siguientes:

- a) **Organización** La estructura de la organización es la cimentación de un mantenimiento efectivo. La mejor forma de establecer una organización es la de evaluar las secuencias de un trabajo típico que debe acompañarse para completar una tarea o proceso de mantenimiento.
- b) **Técnicas de Planeación** En esta área se pueden implementar actividades para minimizar las influencias externas. La planeación es el acto de organizar los recursos para asegurar su uso efectivo, programando el trabajo en una secuencia lógica y ejecutando el plan de acuerdo con el programa.
- c) **Sistemas Administrativos** Son los ingredientes que mantienen unido al programa de mantenimiento, siendo la base para implementar acciones que aseguren el logro de las metas que pueden ser para la determinación de que, como y cuando hacerse, así como la configuración y medición de los efectos de lo que se ha hecho. Son las herramientas para convertir políticas y procedimientos en acciones específicas.
- d) **Métodos y Estándares de Trabajos** Deben producirse estándares de calidad o métodos de trabajo para ayudar a los técnicos en su trabajo, debiendo incluir prerequisites, limitaciones y medidas de criterios de aceptación. Son documentos de ingeniería, que en el caso de no aplicar los requerimientos del procedimiento, pueden alterar el comportamiento del equipo; para iniciar la institución de los métodos y estándares de trabajo, se deberá contar con lo siguiente:
 - Una política con relación a su uso
 - Actividades estándar en donde se use
 - Procedimiento para controlar el uso y revisión del estándar
 - Un programa para medición del comportamiento contra el estándar
- e) **Ingeniería de mantenimiento** Proporciona la capacidad analítica para mejorar la confiabilidad de los equipos y para reducir la demanda del trabajo de mantenimiento. Las funciones principales de la ingeniería de mantenimiento son:
 - Análisis predictivo de fallas. Incluye la evaluación de todas las posibles fuentes de datos para identificar el deterioro e impedir fallas en los equipos.
 - Análisis de fallas inesperadas. Se evalúa el mismo tipo de datos del análisis predictivo de fallas y adicionalmente se desensambla e inspecciona el equipo, se miden claros, se hacen exámenes no

destructivos, etc., para determinar el origen o la raíz de la causa y tomar acciones correctivas.

- Evaluación de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo. Se hacen en equipos individuales basados en consideraciones de operación existentes.
- Evaluación de problemas inesperados encontrados durante la revisión del equipo.
- Preparación de especificaciones para la sustitución de equipos.
- Ingeniería de modificaciones pequeñas de la caldera.

f) **Entrenamiento del Personal** Deben hacerse esfuerzos adicionales para formalizar y proporcionar una forma estructurada de entrenamiento basado en la valoración de necesidades, determinando los conocimientos esenciales, las habilidades necesarias y la actitud más positiva, para todos los niveles de personal.

Mantenimiento Correctivo

Para estos trabajos se requiere contar con un medio para reportar los defectos y solicitar los servicios de mantenimiento. Este medio debe tener las siguientes características.

- Ayudar a la superintendencia de mantenimiento a determinar prioridades cuando compile los programas de trabajo.
- Proporcionar un medio para verificar que el defecto ha sido corregido a satisfacción de la Superintendencia de Operación.
- Proporcionar un registro del trabajo hecho para el historial de la planta y para el sistema del archivo central.

Mantenimiento Preventivo Planeado con la Unidad en Funcionamiento

Este es un sistema de mantenimiento rutinario, que ayuda a prevenir defectos y roturas, debiéndose tener una cuidadosa consideración para lograr el óptimo nivel de mantenimiento.

La naturaleza y frecuencia de este mantenimiento, pueden ser mejorados progresivamente por medio de los siguiente:

- Monitoreo del comportamiento de la caldera
- Tendencia del comportamiento

- Modificación de programas

Los objetivos de este sistema de mantenimiento preventivo planeados, son los siguientes:

- Determinar los requerimientos de mantenimiento rutinario de cada equipo es decir, definir que trabajo debe ser hecho y su frecuencia.
- Asegurarse que el mantenimiento rutinario se llevó a cabo.
- Proveer un registro de que el mantenimiento rutinario se ha llevado a cabo y la naturaleza de cada trabajo adicional que pueda encontrarse necesario.

Es necesario auxiliarse de hojas de registro en donde se incluya:

- Número de código e información de la caldera, como plano de referencia etc.
- Servicios de rutina llevados a cabo, indicando la fecha.
- Número de defectos reportados, que pueden ser un simple sistema de señalización.
- Frecuencia del mantenimiento rutinario y breve descripción de la rutina.

Mantenimiento Preventivo Planeado con la Caldera Parada

Debido a los altos gastos en que se incurren con las unidades fuera de servicio por mantenimiento, es necesario elaborar cuidadosamente un plan de trabajo, para que la duración del paro se reduzca al mínimo. El proceso de planeación debe empezar varias semanas o meses, antes de que el paro tenga lugar.

Las estimaciones de tiempo no deben considerar los registros pasados que puedan estar distorcionados por dificultades específicas, como falta de mano de obra o equipo, etc., que se haya tenido en ese tiempo y las estimaciones deben hacerse sobre bases realistas actualizadas.

Todos los trabajos a ser realizados pueden ser agrupados en la siguiente forma:

- Trabajos preparatorios
- Trabajo esencial mínimo
- Trabajo que debe hacerse preferiblemente durante el paro
- Otros trabajos

En el análisis de la ruta crítica, la primera etapa de planeación es la identificación de los trabajos que deben realizarse y su secuencia lógica; durante la programación, se designa cuando deben realizarse dos trabajos distintos. Después de completar los trabajos, se debe hacer una revisión de las actividades para auxiliar la futura planeación.

Registros de Mantenimiento y de la Caldera

Para poder llevar a cabo los mantenimientos y servicios señalados en los puntos anteriores, es necesario contar con registros auxiliares para la toma de decisiones; estos registros incluyen los siguientes principalmente.

- a) Archivo de datos
- b) Memoria
- c) Análisis que pueda ser hecho de cualquier factor particular y que pueda influenciar futuras políticas de mantenimiento.
- d) Recordatorio de ciertos eventos
- e) Archivo histórico de la caldera

El análisis de la historia del mantenimiento de cada parte de la caldera, proporciona la clave para determinar los requerimientos óptimos del futuro mantenimiento, por lo que es necesario poder determinar rápidamente lo siguiente:

- Número de ocasiones en que un servicio rutinario se ha llevado a cabo
- Cuantos defectos en servicio han ocurrido
- Tendencias en el desgaste
- Deterioro del aislamiento
- Erosión, etc.

f) Estándares de trabajo o instrucciones de mantenimiento preventivo (EMP's).

Muchas partes de las calderas tienen que ser desarmadas, reparadas, renovadas y reensambladas de una manera precisa, por lo que los oficiales de mantenimiento tienen que seguir instrucciones claras, con el objeto de cumplir con el trabajo sobre partes, en forma rápida y correcta.

Las EMP's son una guía detallada para los oficiales, sobre la cual se puede verificar cada etapa y es una forma de dar instrucciones y ejercer una medida de control sobre el trabajo.

Para que el EMP sea efectivo, se debe diseñar con mucho cuidado e indicar los siguientes puntos:

- Componente de la planta
- Todos los planos y documentos relevantes de referencia
- Herramientas y equipos especiales requeridos

cojinetes.

Se debe tener una política definida para la impresión, manejo, emisión, actualización, etc., de estos documentos.

Los servicios o registros anteriores, son proporcionados en cualquier grado de complejidad requerido, pero es necesario tomar en cuenta, que si el sistema se hace demasiado complicado, se vuelve caro de operar, especialmente si se requiere personal adicional y además los datos esenciales pueden ser ocultados por demasiado detalle.

Sistematización

El tamaño y complejidad de las instalaciones de las calderas de potencia no permiten tener una actualización eficaz de toda la información de datos en forma manual que puedan consultarse e interpretarse correctamente sobre todo en lo relacionado al mantenimiento que incluye:

- Reparaciones
- Sustituciones
- Causas de fallas
- Costos

La gestión del mantenimiento y las decisiones urgentes, involucran una gran cantidad de datos complejos, que en algunas ocasiones son compromisos entre requerimientos contradictorios, que hace necesario el procesamiento automático de datos, que tiene en general las siguientes ventajas:

- Facilidad para el tratamiento de grandes cantidades de datos
- Ningún problema en el caso de procedimientos, una vez establecida la programación (software).
- Oportunidad, precisión, consistencia, abundancia y confiabilidad de la información de salida.
- Elevado nivel de automatismo en la gestión de datos

El propósito general de un sistema de información, es el de mejorar la calidad de la información en cuanto a:

- Oportunidad
- Precisión
- Consistencia

- Abundancia
- Significatividad

Adecuada diversificación del grado de agregación, en función de los niveles decisionales.

Codificación

La fase inicial de un sistema para organizar el servicio de mantenimiento y la gestión de refacciones, es el estudio de un sistema de codificación eficaz, que es la clave que permite la construcción de un sistema informativo correcto y productivo. Los sistemas de codificación, pueden dividirse en tres categorías:

- a) Códigos progresivos o cronológicos
- b) Códigos de tipo funcional
- c) Código de tipo descriptivo genérico o por características

Este último (codificación por características), permite lo siguiente:

- Una identificación unívoca entre cada uno de los componentes y todos los datos que se recaban y almacenan como base para definir políticas de MP estudios de confiabilidad.
- La intercambiabilidad de refacciones y el seguimiento de su gestión (de las refacciones).
- Realizar análisis de confiabilidad y disponibilidad.

Definición de un Plan

La realización de una política de mantenimiento puede ser lograda a través de las siguientes etapas:

- a) Recolección sistemática de los datos de mantenimiento correctivo (MC) y organización de los mismos en un archivo histórico.
- b) Análisis del MC para descubrir fallas repetitivas.
- c) Introducción del MP en donde no incluye paro, en el plan periódico del mantenimiento a corto plazo.
- d) Creación y actualización de estándares de MP (EMP's) incluyendo tipo, modalidades, recursos para su realización e identificación de la frecuencia para aumentar el plan de mantenimiento.
- e) Gestión de las grandes revisiones, con objeto de que se puedan llevar a cabo todos los trabajos programados en el menor tiempo posible.

- Descripción de los trabajos de sustitución o reparación preventiva
 - Cálculo de la fecha del trabajo
 - Tiempo total del trabajo
- g) Definición en "tiempo real" de un plan de mantenimiento óptimo en paro forzoso de la unidad
 - h) Planeación de los trabajos a corto plazo, que incluyen lubricación, inspección y reparación de menor importancia técnica y económica.
 - i) Equilibrado de las cargas de trabajo periódico, entre las distintas secciones y cuadrillas.
 - j) Planeación de materiales que incluyen el control de disponibilidades en almacén, de materiales y refacciones para un determinado trabajo.

La realización de una política de gestión de existencias de refacciones debe llevarse a cabo en las siguientes etapas:

- a) Creación y actualización continua de los materiales disponibles y su ubicación en el almacén.
- b) Definición de una política de gestión para cada categoría de materiales, incluyendo sus primeros parámetros.
- c) Registro de los movimientos y control de niveles de baja existencia y valoración de estas.
- d) Cálculo de los parámetros de gestión (cantidad económica de reaprovisionamiento, nivel de seguridad, nivel de pedido), para cada código según criterios económicos.
- e) Análisis de las características de proveedores (calidad, precio, seguridad de suministro y plazo de entrega).
- f) Emisión automática de órdenes de elaboración de requisiciones, control de procesos, de adquisición, etc..

La realización de un control de gestión del servicio de mantenimiento, se establece con los puntos siguientes:

- a) Control de los costos de mantenimiento de cada componente
- b) Comparación entre los costos previstos y reales
- c) Cálculo de los índices (mano de obra y otros), comparándolo con otros períodos.
- d) Elaboración de las estadísticas de indisponibilidad, parámetros de confiabilidad y análisis de fallas de cada equipo

Las ayudas recomendables a la línea operativa del servicio de mantenimiento, incluyen lo siguiente:

- a) Control continuo de la ejecución de trabajos
- b) Obtención en tiempo real de diversos documentos (ST's, OT's, etc.).
- c) Consulta del archivo de almacén (inventario, órdenes de compra, etc.).

Actividades de Planeación y Control

Puede definirse a la planeación como el método por el cual la gestión ve hacia el futuro y descubre los cursos alternativos de acción.

Una forma de estudiar o analizar el método de planeación es identificar las actividades que en conjunto forman el sistema; una lista de las actividades de planeación no es otra cosa que un recurso analítico útil para descubrir los elementos básicos inherentes al trabajo de planeación.

El departamento de Planeación y Control se forma dentro de la organización de mantenimiento para:

- Preparar programas de trabajo de MP planeados.
- Preparar OT para colocación en la supervisión a la atención de los jefes de Departamento.
- Registrar en los archivos del historial, detalles del trabajo hecho, tal como se extrae de los reportes de trabajo completados.
- Asegurar que cuando cierta parte de la caldera se saca de servicio, todos los trabajos establecidos en la forma de defectos se atiendan por cada departamento simultáneamente
- Mantener registros de operación de la caldera, disponibilidad, eficiencia y costos de mantenimiento.
- Preparar listas de licencias o permisos de trabajos para someterse al Staff de operación.
- Definir los requerimientos de planeación a largo plazo y programas de "overhaul" de la unidad.
- Archivar clasificadas las OT establecidas agrupadas en:
 - Espera de un paro
 - Espera de refacciones o materiales
 - Espera de mano de obra
- Conservar registros de inspección de caldera y equipos

- **Extraer información de las compañías de inspección**
- **Introducir información relevante en los archivos del historial, en adición a los trabajos de mantenimiento.**
- **Archivar las hojas de especificación de trabajos y emitirla con las OT en la forma apropiada.**
- **Archivar copias de manuales de mantenimiento, libros de instrucciones y planos comunmente usados.**

1. Sistema Evaporador

En el domo y colectores o cabezales pueden aparecer fisuras que son una consecuencia del régimen de funcionamiento; durante los paros y arranques, se producen variaciones de temperatura que son el origen de sollicitaciones alternadas en el material. El tamaño de esta sollicitación depende de la velocidad de variación de la temperatura, y en este sentido, los choques térmicos tienen un efecto acentuado en la fatiga del material.

Por lo general las fisuras se producen en zonas concentradoras de tensión y especialmente en orillas o bordes de orificios, zonas con defectos de pretratamiento, con tensiones internas provenientes del proceso de soldadura o la unión de elementos con pared de espesor diferente.

El desarrollo de las fisuras está favorecido por el fenómeno de corrosión bajo tensión alternada, seguida del deterioro del estrato o capa protectora de magnetita de la superficie metálica y la corrosión durante el período de paro de la instalación. Las fisuras aparecen predominantemente en zonas de materiales con capacidad reducida de deformación plástica.

La sollicitación alternada no solo se produce durante los paros y arranques, la rotura de un tubo de pantalla seguida de una caída rápida de presión en el sistema evaporador produce una sollicitación térmica muy importante.

En general, las averías que requieren realizar reparaciones, seguidas de una prueba de presión o hidrostática, son causa de sollicitaciones térmicas y mecánicas grandes, por el choque térmico producido con la introducción de agua en el domo para la prueba hidráulica y por la misma realización de la prueba, de estas averías son ejemplo la rotura de tubos del economizador. También el disparo o desconexión del calentador de agua de alimentación de alta presión produce en forma directa choque térmico en la caldera.

De acuerdo con lo anterior, si las averías son numerosas, constituyen ellas mismas las causas de nuevos defectos.

En general, el modo de producirse el defecto es complejo y está condicionado a la interacción de múltiples factores de influencia, la investigación de las causas debe comprender análisis químico, mecánico y metalográfico del material. Es necesario que se establezca si las fisuras son intercrystalinas o transcrystalinas, así mismo, debe establecerse el carácter estático o dinámico de la sollicitación que produce la fisura y la eventual contribución de la corrosión.

Una serie de puntos débiles en el domo provienen de fabricación, como cierto ovalamiento, irregularidades en la superficie, soldadura con tratamiento térmico inadecuado.

Los tubos evaporadores están sujetos a esfuerzos técnicos no solo en régimen transitorio, sino también en régimen de funcionamiento continuo; este esfuerzo depende del flujo térmico, de la naturaleza del combustible y de la posición en el lugar del trayecto de tubo. Los defectos más frecuentes de estos tubos son causados, en las calderas grandes, por el fenómeno de corrosión bajo tensión, bajo los depósitos de óxido de hierro en zonas con flujo térmico elevado o con enfriamiento insuficiente. En calderas que no tienen tratamiento adecuado de condensado y que el contenido de sales es elevado, se presenta la corrosión por picadura.

En las calderas de circulación forzada, a veces se forma nungnilita en exceso que es arrastrada por el agua y puede producir averías por obstrucción del dispositivo igualador de presión.

Otra causa de averías en tubos evaporadores la constituye la erosión causada por sopladores de hollín desajustados o mal instalados.

Los defectos de fabricación como excentricidad, sobreposición de fisuras, inclusiones, etc son causa de muchas roturas de tubos evaporadores, después de una duración relativamente corta de funcionamiento; se ha comprobado la aparición de defectos, especialmente en curvas de tubos elevadores.

2. Sobrecalentadores

En los sobrecalentadores que trabajan a temperatura elevada, los tubos están sujetos al fenómeno de fluencia, la utilización de aceros de calidad que no corresponde a las condiciones de trabajo es una fuente de producción de averías, por otra parte, los tubos están sujetos a corrosión interior producida por el vapor y a corrosión exterior producida por los gases de combustión. Al sobrepasar un cierto nivel de temperatura, característico de cada tipo de acero, se acelera mucho el fenómeno de oxidación (formación de escoria).

Una forma diferente de sollicitación en los sobrecalentadores la constituye la corrosión variádica que se manifiesta a temperatura elevada de metal, que se inicia aproximadamente a 600 °C; este fenómeno se manifiesta especialmente en la combustión de combustible con contenido elevado de vanadio y azufre. A veces se produce el fenómeno de corrosión-erosión, caracterizado por la formación de depósitos adherentes y agresivos que corroen el metal, seguida de despreñamiento por soplado, equivalente a un fenómeno de erosión, la pérdida de material progresa con el número de ciclos deposición-limpieza.

Los soportes de los tubos sobrecalentadores están expuestos al peligro de oxidación, si no se asegura un enfriamiento suficiente de aquellos. En algunos soportes se produce fragilización de la soldadura, seguida de su ruptura; en este caso se comprueba que se utilizó electrodo de soldadura no adecuado, con elevado contenido de cromo.

Los tubos de los sobrecalentadores están sujetos a esfuerzos térmicos permanentes, sobreponiéndose a éste, el esfuerzo mecánico generado por la presión interior, el esfuerzo térmico depende de la intensidad del flujo de calor por las paredes del tubo. Los tubos más expuestos a una sollicitación excesiva son los de las etapas de radiación del sobrecalentador, sobre todo en el período de arranque, la falta de uniformidad de temperatura en el flujo de gases de combustión, produce así mismo sollicitaciones legales grandes.

En ocasiones, la sollicitación que produce el defecto del tubo, proviene del impedimento de dilatación térmica de éste, debe subrarse: el hecho que el defecto causado por esta sollicitación se manifiesta después de un número de ciclos de carga-descarga, que es más pequeño conforme dicha sollicitación es mayor

Las sollicitaciones por choque térmico se producen en especial en colectores de enfriamiento o atemperación por inyección, ocasionados por defectos en el sistema interior de enfriamiento

Las secciones de sobrecalentadores dispuestas en los canales de convección, están sujetas al efecto de erosión producida por la ceniza volante, los depósitos de escoria pueden intensificar la erosión del tubo por el angostamiento de la sección de paso, lo que produce mayor velocidad de los gases de combustión y de las partículas de ceniza arrastradas

Es importante mencionar que el engrosamiento de la pared del tubo, tanto para una mayor resistencia al esfuerzo como para crear una reserva de material para limitar el efecto del fenómeno de erosión, es una medida de efecto limitado. El aumento del espesor de la pared tiene el efecto de aumentar el esfuerzo térmico, por lo que existen normas que limitan el espesor admisible de las paredes de los tubos que trabajan en régimen de carga térmica elevada

3. Economizador

Los defectos más frecuentes en los economizadores son los producidos por la erosión de las cenizas volantes; esta erosión se manifiesta con intensidad diferente en el espacio en que la velocidad de los gases y las partículas de ceniza es mayor y en los lugares en que la concentración de ceniza es más grande

Otro agente de erosión son los chorros de agua por los poros de soldadura entre el paso de tubos y de sus soportes, a veces se produce en el curso del proceso de dilatación térmica.

4. Precalentadores de Aire

La zona del precalentador de aire es, debido a la temperatura baja del metal, una zona característica para corrosión; por los compuestos se produce en forma más intensa con la combustión de petróleo con alto contenido de azufre. En la combustión de carbón, la corrosión sulfúrica es menos intensa debido al efecto

inhibidor de la ceniza. sin embargo, la ceniza produce erosión en los elementos del precalentador.

Los precalentadores de aire rotativos están sujetos a averías por erosión mecánica, producida por la vibración de paquetes de canastas.

Todos los tipos de precalentadores de aire constituyen una zona en donde hay la posibilidad de aparición de incendio; este peligro es mayor cuando la operación es con petróleo a carga reducida, como sucede durante el funcionamiento de prueba. En ocasiones, el incendio en los precalentadores de aire son una consecuencia de errores de explotación, como el funcionamiento con falta de aire en que el incendio se produce aún en calderas que queman gas combustible.

El hollín producido por una combustión incompleta, es transportado por los gases de combustión y se deposita en las superficies frías de los precalentadores de aire, se puede acumular en éste una cantidad grande de hollín, que se prende en contacto con una fuente de calor de temperatura elevada y prende la masa metálica del precalentador. La combustión es posible debido a la penetración de aire por las paredes no estancas del lado de gases de combustión, mayormente en los precalentadores rotativos.

5. Hogar

La combustión de gas combustible esta acompañada del peligro de explosión hogar, lo que casi siempre es una consecuencia de errores de explotación. La explosión se produce por la introducción no controlada de gases en el hogar y se produce sobre todo en los paros de corta duración por las compuertas de los conductos de gases que permanecen abiertas por olvido o falla.

La explosión puede producirse por el incendio de un quemador con otro que se encuentre en funcionamiento, una maniobra de este tipo debe estar prohibida por las instrucciones de explotación

La acumulación de gases en el hogar, seguida de una explosión, se produce en algunos casos como consecuencia de dejar sin supervisión la flama en el hogar de una caldera; con una variación de presión de gas en la red se apaga la flama y los gases continúan entrando al hogar y al entrar en contacto con un elemento metálico a temperatura elevada, se produce la explosión

Un caso especial de explosión se produce en algunas calderas de tipo antiguo, en que los tubos elevadores pasan por un espacio cerrado en paredes de la caldera; por la rotura de un tubo elevador, se crea en este caso una sobrepresión en el espacio cerrado, lo que produce el derribo de la pared y averías graves en la caldera

6. Tubería de Conducción

La tubería de conducción de vapor está sujeta a esfuerzos mecánicos por el efecto de la presión interior, esfuerzo térmico de carácter estático generado por

Impedimento de la libre dilatación y esfuerzo térmico de carácter dinámico generado durante el período de tiempo de transitorios de funcionamiento por la diferencial de temperatura de las paredes; por la variación cíclica de esta sollicitación, se produce la fatiga del material. En la tubería que trabaja a temperatura elevada, además de la fatiga por la sollicitación cíclica, se sobrepone el fenómeno de fluencia; como un efecto de la fatiga del material, aparecen fisuras en las porciones de mayor sollicitación del sistema de tubería.

La localización de la sollicitación máxima depende de la configuración del sistema de conducción y de la concentración de tensiones; las principales concentradoras de tensión son las curvas ovaladas del sistema y soldaduras. En zonas de soldadura se manifiesta tensión remanente y por otra parte en esta zona se produce modificación de la estructura de material, por el efecto del proceso de soldadura y del tratamiento térmico.

Otro punto débil del sistema se localiza alrededor de defectos de fabricación, principalmente en las piezas

7. Bomba de Agua de Alimentación

De las averías que se producen en la instalación de agua de alimentación como consecuencia de errores de proyecto, en menor medida son de la bomba y la mayor cantidad se deben al encuadramiento de la bomba en el circuito tecnológico de la instalación; los principales defectos se producen a causa de la trayectoria y de la forma inadecuada de la tubería de succión, recirculación y descarga, y por otra parte, una caída de presión relativamente pequeña en la tubería de succión, es posible que produzca evaporación del agua

Otra categoría de fallas es la causada por falta de estanquidad en los dispositivos de cierre, que tiene el efecto de deformar la carcasa de la bomba durante el tiempo en que esta se mantiene parada

La penetración de cuerpos extraños en la bomba, por la falta de cedazos correctamente dimensionados, produce también averías frecuentes

Durante el tiempo de funcionamiento y bajo la influencia de las condiciones de operación, se producen defectos por desgaste y corrosión; una forma especial de fenómeno que produce desgaste, lo constituye la cavitación que se produce en algunos casos por conectar la bomba en condiciones de caída de presión y vaporización en la tubería de succión

8. Ventilador de Gases

Además de los defectos de cojinetes, la erosión es la causa más importante de averías en los ventiladores de gases de combustión; la erosión de las paletas depende de la concentración, composición y granulometría de las cenizas en los

gases de combustión. La concentración y granulometría de las cenizas depende de la calidad de la instalación de los filtros de ceniza.

También los defectos de fabricación, en especial en la soldadura de las paletas, pueden generar averías importantes.

9. Molinos de Carbón

El desgaste producido durante el tiempo del proceso de molido, impone su reparación, que tiene el efecto de reducir temporalmente la capacidad de la caldera; este efecto está influenciado por la reducción en el flujo de carbón molido del molino, como una consecuencia del desgaste producido en explotación.

Otra causa de averías lo constituye la penetración de cuerpos metálicos en el molino.

V.- INSPECCIÓN EXTERNA

El objetivo principal de la inspección externa e interna es el de determinar si la caldera y sus auxiliares se encuentran en condiciones seguras de operar

INSPECCIÓN EXTERNA

A.- Condiciones Generales

- accesibilidad a la caldera y aparatos auxiliares;
- limpieza general;
- fugas de agua o vapor, incluyendo cubiertas de aislamiento, soportes, mampostería o refractario.

B.- Precauciones antes de entrar

- se deben cumplir las reglas y disposiciones de seguridad;
- asegurarse que se tiene ventilación adecuada;
- ver que el local se encuentre libre de vapores dañinos;
- deberán permanecer otras personas además de la que efectúa la inspección

C.- Manómetros

- comparar las lecturas con otro manómetro o bien con un patrón;
- se deben observar las lecturas durante las pruebas que se hagan;
- hay que reemplazar los manómetros defectuosos.

D.- Indicador de nivel

- observar purga y rapidez de retorno del agua. Una respuesta lenta puede indicar obstrucciones;
- purgar separadamente las conexiones de agua y vapor;
- comprobar si el fogonero tiene y sigue la indicación exacta del nivel de agua;

Asegurarse de que el nivel de agua indicado sea el correcto, probando el indicador como sigue:

- Cerrar la válvula inferior del cristal de nivel, abrir luego el grifo de drenaje y desalojar el cristal.
- Cerrar el grifo de drenaje y abrir la válvula inferior del cristal de nivel. El agua deberá regresar al cristal medidor de inmediato.

- Cerrar la válvula superior del cristal medidor, abrir luego el grifo de drenaje y permitir que el agua fluya, hasta que corra libremente.
- Cerrar el grifo de drenaje y abrir la válvula superior del cristal medidor. El agua deberá regresar al cristal medidor de inmediato.
- Si el retorno del agua es lento, deberá repetirse la operación. Una respuesta lenta puede indicar una obstrucción en las conexiones de la tubería a la caldera. Cualquier fuga de éstas conexiones deberá corregirse a la brevedad posible, para evitar daños a los accesorios o una falsa indicación de la línea de agua.

CONTROLES DE PRESIÓN (CALDERAS DE VAPOR)

El inspector deberá cerciorarse de que cada caldera de vapor de combustión automática, esté protegida contra una sobrepresión, por lo menos con dos controles operados por presión, uno de los cuales puede ser un control de operación.

CONTROLES DE CORTE DE COMBUSTIBLE POR BAJO NIVEL DE AGUA Y CONTROLES DE NIVEL.

- a) El inspector deberá observar la simulación de una situación de bajo nivel de agua, por medio de la purga de estos controles, con el quemador en operación. El retorno a la condición normal, tal como el re-encendido del quemador en operación, el paro de una alarma, o el paro de una bomba de alimentación, deberán ser observados. Una respuesta lenta puede indicar una obstrucción en las conexiones a la caldera. En caso de que no opere el corte de combustible por bajo nivel de agua o no se indique el nivel de agua correcto, la caldera deberá sacarse de servicio hasta que haya sido corregida la situación insegura.
- b) Deberá probarse la operación de un control sumergido de corte de combustible por bajo nivel de agua, montado directamente en la envolvente de una caldera de vapor, reduciendo cuidadosamente el nivel de agua de la caldera. Esta prueba sólo se deberá hacer cuando se tenga la seguridad de que el medidor de nivel de agua esté indicando correctamente.

E.- Válvulas de seguridad y de alivio.

A presiones no mayores de 400 psi (27.6 bar), las válvulas de seguridad deberán probarse, permitiendo que la presión en la caldera se eleve hasta la presión de disparo, y luego dejarla bajar para comprobar la presión de disparo real, así como la purga. Si esto no es práctico, la válvula deberá probarse por parte del operario de la caldera para operación libre, mediante el uso de la palanca manual, siempre y cuando la presión de la

caldera sea del 75% o más de la presión de operación. En el caso de varias válvulas de seguridad, la última es la única prueba práctica, a menos de que se haga una prueba de acumulación.

A presiones mayores de 400 psi (27.6 bar), se deben tener evidencias de que las válvulas fueron probadas a presión o desarmadas, rehabilitadas, probadas y de que la presión de disparo y la purga se verificaron cuando fue necesario, dentro de un periodo de tiempo aceptable. En forma alterna, se puede elegir hacer la prueba como se estipula en el párrafo anterior.

En donde la válvula tiene un tubo de descarga, deberá determinarse si éste está libre, de acuerdo a los requisitos.

Cuando la inspección revela que alguna válvula de seguridad tiene fugas o que no está operando en forma apropiada, lo que se hace evidente por la falla al abrir y cerrar respectivamente o que muestra signos de pegarse, la caldera se sacará de servicio y la válvula deberá ser reemplazada o reparada.

Deberá revisarse la placa de identificación de la válvula de seguridad o de alivio y seguridad, para verificar que la presión de ajuste es correcta y que la capacidad es adecuada. El inspector deberá también comprobar que sellan apropiadamente a las presiones de ajuste y de purga.

Cuando calderas de diferentes presiones de trabajo máximo permisible con calibraciones mínimas de válvula de seguridad que varían más del 6 % se conectan de tal modo que el vapor pueda fluir hacia las unidades de baja presión, éstas últimas se protegerán mediante el aumento de capacidad de las válvulas de seguridad, si es necesario, en el lado de presión más bajo del sistema. La capacidad adicional de válvula de seguridad se basará en la cantidad máxima de vapor que pueda fluir hacia el sistema de presión más baja.

F.- Protección y controles (corte de combustible por bajo nivel o control de alimentación).

- observar prueba y respuesta después de abrir el drenaje;
- cerrar el drenaje y observar la rapidez de retorno a situación normal (alarma, b.a.a.);
- una respuesta lenta puede significar obstrucción en las conexiones;
- en caso de falla en controles o nivel, debe sacarse de servicio la caldera para corregir fallas.

G.- Tubería, conexiones y accesorios

- **revisar que pueda expandirse libremente y que tenga los soportes adecuados;**
- **ver que no existan fugas;**
- **la ubicación de válvulas de cierre y drenaje no deben permitir acumulación de agua cuando se cierran, para evitar golpe de ariete;**
- **observar que no haya vibración excesiva;**
- **en cabezales de calderas múltiples, revisar conexiones para ver que no tengan tensiones excesivas por asentamiento en cimentaciones u otros factores;**
- **revisar que las clasificaciones sean para las condiciones de servicio.**

H.- Tubería de purga

- **revisar que durante la purga el flujo sea normal;**
- **observar que la tubería tenga libertad de expansión y contracción;**
- **ver que no tenga vibración excesiva.**

I.- Registros de operación y mantenimiento (O & M)

- **estudiar y analizar los registros de: operación, mantenimiento, tratamiento de agua, pruebas, controles, etc.;**
- **estudio y análisis de reparaciones efectuadas desde la última inspección.**

J.- Conclusiones

- **observar las prácticas reales de operación y mantenimiento durante todas las pruebas, para determinar su aceptabilidad;**
- **deberán hacerse recomendaciones sobre defectos o deficiencias de operación y mantenimiento.**

VI.- INSPECCIÓN INTERNA DE LA CALDERA

Las calderas deben tener al menos una inspección interna por año, de parte de un representante calificado de la Compañía de seguros; durante el año el inspector de seguros debe examinar la caldera una o mas veces, dependiendo de las condiciones. Durante la inspección, algún representante del propietario debe estar presente para tratar con el inspector oficial y tomar notas específicas de las inspecciones acerca de.

- . depósitos de incrustaciones
- . corrosiones
- . erosiones
- . grietas
- . fugas
- . otras irregularidades.

El cuidado de una caldera no debe empezar y terminar con una inspección anual, el personal de operación debe estar continuamente inspeccionado la caldera y estar alerta de posibles condiciones que lleven a problemas. El examen externo se hace primariamente para verificar el cuidado y mantenimiento

La inspección interna debe incluir lo siguiente:

- . un examen de las reparaciones previas,
- . lo adecuado de la unidad para la presión de operación,
- . la resistencia de las juntas, ligamentos de tubos y otras partes vitales,
- . una decisión sobre la conveniencia de continuar con la caldera en servicio.

Cuando se hace necesario determinar la posible seguridad y vida útil remanente de una caldera, se pueden emplear pruebas no-destructivas, para este propósito se pueden utilizar exámenes de rayos X y de ultrasonido así como otros tipos de pruebas no-destructivas con lo que se determina la condición existente en la caldera

El método de magnaflex es útil para detectar la presencia de roturas y grietas en el hierro y el acero; esta prueba se realiza cubriendo primero el área a ser inspeccionada con un

polvo fino magnético y entonces se somete a magnetismo. Se puede observar fácilmente una grieta o rotura por el patrón desplegado o mostrado en el polvo magnético.

El método de penetración es aplicable a la localización de grietas en materiales metálicos y no-metálicos; esta prueba se hace puliendo el área y aplicando un líquido. Las grietas son localizadas fácilmente observando el área mientras está iluminada con una luz ultravioleta.

El espesor de placas de metal o tubos puede ser medido por un generador de ondas de sonido ultrasonido; en este caso es necesario tener acceso a solo un lado de la placa o tubo para hacer ésta medición. El generador puede estar calibrado para leer el espesor del metal y puede por lo tanto ser usado para determinar áreas en donde el espesor de la placa o tubo se ha reducido.

El escleroscopio se usa para determinar la dureza del metal, es útil para determinar el grado en que el metal de la caldera se ha endurecido por la aplicación de esfuerzos repetidos.

Cuando una caldera se saca de servicio para inspección se debe permitir que se enfrie lentamente y realizar las siguientes actividades.

operar los sopladores de hollin para limpiar los tubos y baffles, antes de que la temperatura haya caído lo suficiente que produzca humedad en los tubos,

cuando la caldera este lo suficientemente fría, abranse las válvulas de purga y drenela,

remueva las cubiertas de los registros de-hombre y las tapas de algunos registros de mano;

lávese el interior del domo con agua a alta presión;

antes de entrar a la caldera cierre la purga, la válvula del cabezal principal y las válvulas de agua de alimentación, bloqueándolas en la posición de cerradas o etiquetándolas para asegurarse contra la posibilidad de que sean abiertas mientras el personal de inspección y mantenimiento están dentro de la caldera,

revise las extensiones eléctricas para asegurarse que están en buenas condiciones,

el inspector debe tener disponible una lista de las dimensiones y otros datos importantes, así como registros e historial de reparaciones e inspecciones de la caldera;

remueva la acumulación de ceniza, escoria y hollin del hogar y pasos de la caldera,

la remoción de escoria dura de las paredes del hogar debe hacerse con cuidado para evitar daños al revestimiento refractario; la escoria se adhiere fuertemente al revestimiento y por lo tanto es mejor dejar que permanezca parte de la escoria a desprender una parte de refractario;

remueva el hollín y cenizas de baffles horizontales, embudos etc.;

debe evitarse la creación de polvos por falta de cuidado en su manejo o por soplar con aire comprimido cenizas, finos de carbón y hollín,

el uso cuidadoso de la chimenea o tiros de ventiladores mientras se hace la limpieza reducirá la cantidad de cenizas descargadas dentro de la sala de caldera;

no se acumulen en pilas las cenizas mientras se hace la limpieza porque pueden estar lo suficientemente calientes que causen serias quemaduras.

Una inspección al interior de una caldera tubular de retorno, debe incluir los siguiente un examen de la cubierta, tanto arriba como abajo de los tubos,

cheque que no haya tirantes, refuerzos o sostenes rotos, probándolos con un martillo,

observe que no haya taponamientos en la entrada de agua de alimentación y conexiones de vapor incluyendo la tubena de secado,

examine las superficies de la cubierta y tubos por depósitos de incrustaciones, bolsas, ampollas, aceite y corrosión,

cheque por posibles picaduras o desgastes de metal en las juntas,

cuando se usen tapones fusibles observe su condición y reemplácelo si está corroido, en cualquier caso, el tapón fusible debe ser reemplazado una vez al año,

háganse arreglos de alumbrado que permitan ver entre los tubos, y cheque por posibles obstrucciones que puedan interferir con la circulación del agua;

la inspección interior de calderas verticales y otras pequeñas de tubos de humo debe hacerse observando las condiciones a través de los registros de inspección,

la inspección exterior de la cubierta de una caldera tubular de retorno se hace desde el interior del hogar. Las grietas en las placas de la cubierta son peligrosas y deben ser investigadas y reparadas; una excepción son las grietas de fuegos que van desde el borde de la placa en los agujeros de los remaches de las juntas del cincho: se puede permitir un número limitado de éstas grietas;

en el interior del hogar cheque la guarnición (setting) por roturas y observe la condición de emparrillados y pared puente;

si la caldera es del tipo a ras del frente (flush-front) inspeccione el baffle central por posibles fugas.

vea que la tubería de soplado este protegida adecuadamente contra los gases calientes.

abra las puertas de ambos extremos de la cubierta de la caldera e inspeccione los extremos de los tubos por

quemaduras

fugas en juntas

corrosión

tendencia a pandeado de placas

observe la apariencia exterior de la guarnición (setting), y cheque por fugas de aire en las juntas de la guarnición y cubierta.

En la inspección de una caldera de tubos de agua, es necesario entrar a los domos, una inspección al domo de vapor deberá incluir lo siguiente

un examen de

entrada de agua de alimentación

inyección de químicos

purga continua

conexiones de columna de agua por posibles taponamientos

domo y tubos por incrustación y corrosión,

ligamentos de tubos y juntas por adelgazamiento o debilitamiento;

separador o tubo seco por corrosión o incrustación,

placas de domo, tubos y especialmente remaches por signos de fragilización cáustica,

Domo inferior:

- . observe la naturaleza de los depósitos y la condición de los tubos;
- . cheque las conexiones de purga por depósitos de incrustaciones y posibles taponamientos,
- . en calderas de tubos rectos es necesario remover las tapas de los registros de mano para inspeccionar el interior de los tubos;
- . en algunas ocasiones es necesario pasar a través de los tubos un limpiador mecánico para determinar la naturaleza y extensión de las incrustaciones.

Además de los domos, la inspección a una caldera de tubos de agua también incluye lo siguiente

- . entrada al hogar y varios pasos de la caldera para inspeccionar la guarnición (setting), baffles y exterior de los tubos,
- . después de que se ha removido la escoria y ceniza de las paredes del hogar y tubos, cheque por la formación de bolsas,
- . examine los tubos por posible erosión por choque de flama y acción de los sopladores de hollin,
- . mantenga girando los sopladores y observe el ángulo de viaje para ver que no sople contra una pared o baffle y que las toberas no soplen directamente contra los tubos. Haganse los ajustes necesarios al ángulo de soplado y al alineamiento con respecto a los tubos,
- . examine todos los baffles para ver que los gases no tengan cortos-circuitos, con lo cual fallan para entrar en contacto con todas las superficies de calentamiento,
- . abra las compuertas de la chimenea o entrada de ventilador para ver que abran completamente y cierren herméticamente,
- . observe las condiciones del exterior de la caldera, tuberías y accesorios,
- . cheque el arreglo de válvulas e inspeccione los siguientes sistemas de tubería,

- i - cabezal de vapor principal
- ii - válvulas de no-retorno y drenes
- iii - agua de alimentación
- iu - conexiones de manómetros de vapor
- u - líneas de suministro a sopladores de hollín
- ui - purga principal
- uui - purga continua
- uiii - válvulas de seguridad
- ix - descargas y drenes
- x - suministro de quimicos al domo de la caldera

. opere los mecanismos de control de combustión que mueven las compuertas y los dispositivos de alimentación de combustible;

. cheque el emparrillado por quemaduras, taponamientos o parrillas desgastadas, y daño o desgaste de mecanismos de alimentación de combustible

Quando la caldera esta siendo inspeccionada, cheque los sopladores de hollín en lo siguiente

- . vea que no se tienen cojinetes defectuosos o perdidos,
- . observe que no haya elementos rotos o "pandeados",
- . revise que no falten toberas
- . opere cada elemento y compare el ángulo de soplado con las especificaciones,
- . asegúrese que el ángulo de soplado es el adecuado para la limpieza, pero evite soplar directamente sobre los tubos, que puede resultar en erosión,
- . haga las reparaciones y ajustes necesarios

Después de que se ha completado todo el trabajo necesario la caldera está lista para cerrarse y llenarse con agua; asegúrese que se ha retirado todo el equipo de mantenimiento y que todo el personal está fuera de la caldera

Haga siempre una prueba hidrostática en la caldera después de que ésta ha sido abierta para inspección o reparación; a menos que se hayan hecho reparaciones grandes al domo o a la cubierta, no es necesario que la prueba sea $1\frac{1}{2}$ veces la presión de trabajo. La presión desarrollada por las bombas de agua de alimentación es suficiente para checar fugas de juntas de tubos y empaques de registros de hombre y de mano; si no hay fugas en la sección de presión de la caldera, ésta está lista para el servicio.

VII.-

REPARACIONES

Tubos

Cuando un tubo de caldera falla, es mejor reemplazarlo en lugar de soldarlo o bien intentar repararlo; hay dos métodos o procedimientos para remover tubos:

- quemando el tubo fallado con un soplete de acetileno, 3 cm ó mas de la placa o del domo
- "jalando" el tubo en toda su longitud a través de un agujero en el tubo.

El tubo, tipo de caldera y arreglo de tubos determinan el método que debe ser usado, por lo general es aconsejable quemar el tubo viejo cuando esto es posible. Todos los tubos curvos deben quemarse porque no pueden pasar a través de agujeros de tubos.

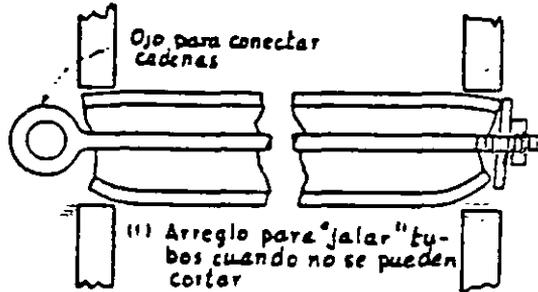
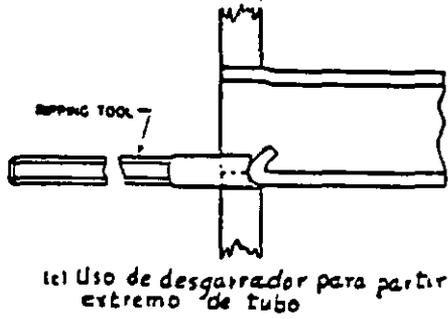
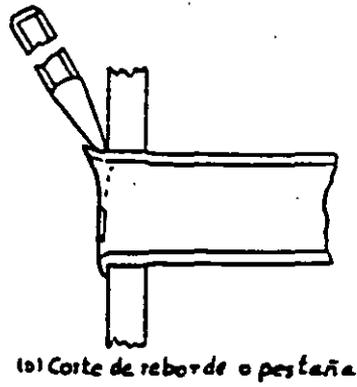
Algunas veces es necesario remover varios tubos buenos para alcanzar el que ha fallado, en calderas de tubos rectos, los tubos de los pasos exteriores pueden quemarse en el extremo, pero los de las filas interiores deben ser jalados a través de agujeros de tubos porque no pueden alcanzarse sin remover los tubos externos.

Cuando es necesario "jalar" en lugar de quemar el tubo, se pasa un limpiador mecánico con cabeza golpeadora a través del interior de tubo, esto es especialmente importante en el caso de calderas de tubos de humo, porque el limpiador remueve la incrustación exterior y hace mas fácil pasar el tubo a través del agujero.

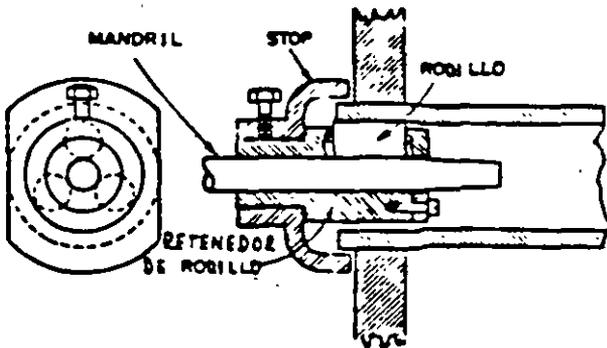
Por otra parte, cuando es posible llegar al exterior del tubo, quémelo con un soplete de acetileno a unos 3 cm. de cada extremo (Fig a), puede ser necesario cortar el tubo en varias piezas para facilitar su remoción. En calderas de tubos de agua se debe tener mucha precaución en la remoción de tubos para evitar daños a los baffles.

En cualquier caso, se está ya listo para aflojar el tubo en donde éste está expandido en placa de tubos, domo, cabezal o cubierta en la siguiente forma:

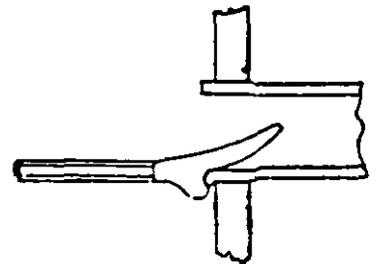
- emplee un cincel para remover la pestaña o reborde del tubo, teniendo, cuidado de no dañar el asiento (Fig b).



REMOCION DE TUBOS EN UNA CALDERA DE TUBOS DE HUMO



EXPANSOR ROLADOR



FORMACION DE PESTAÑA (REBORDE)

- . use un desgarrador (Fig. c) para cortar una ranura a través del tubo, en el asiento,
- . el extremo del tubo puede ahora ser colapsado en el asiento (Fig d y e),
- . si el tubo fue quemado, ahora el niple puede ser fácilmente removido, pero si no, el tubo debe ser jalado y movido fuera. En este punto se requiere alguna habilidad para usar el equipo disponible para jalar y mover el tubo a través del agujero del tubo (Fig f).

Después de que ha sido removido el tubo viejo, proceda en la siguiente forma

- . limpie el agujero (asiento) e inspecciónelo por posibles cortaduras o daños;
- . limpie y pula ambos extremos del tubo nuevo para asegurar el contacto entre metal y metal,
- . inserte el tubo nuevo en su posición, nivelándolo para que la misma cantidad se extienda fuera del asiento en cada extremo,
- . haga una indentación o mella con un martillo en el extremo del tubo para mantenerlo en su lugar,
- . expanda ambos extremos del tubo para obtener una junta hermética (Fig)
- . haga un reborde o pestaña en los extremos de los tubos de humo para evitar que se quemen los extremos y permitir que los tubos actúen como refuerzo de las placas de tubos (Fig)
- . después de reemplazar tubos en una caldera siempre aplique una prueba hidrostática para checar fugas

Domos

La corrosión, fragilización cáustica y sobrecalentamiento hacen a veces necesario reparar o reemplazar domos, cubiertas y tubos de caldera; estas reparaciones o sustituciones deben ser hechas siempre por mecánicos de calderas calificados

Las bolsas en las cubiertas pueden ser reparadas por calentamiento y regresándolas a su lugar siempre que el metal no esté muy dañado por sobrecalentamiento, según determinación hecha por el inspector de calderas, en cualquier caso que el metal haya perdido su resistencia a la tensión o que el abolsamiento se extienda por una área grande, se debe aplicar un parche.

Cuando se ha desarrollado una ampolla, el metal defectuoso debe ser cortado y quitado para determinar la extensión del daño; si la placa se ha debilitado, será necesario aplicar un parche.

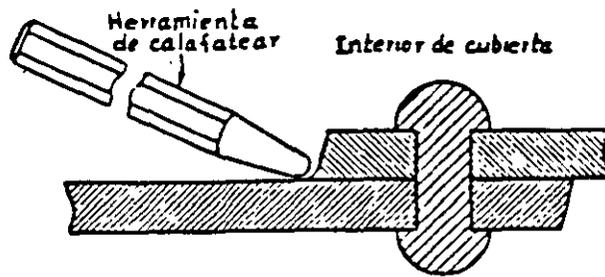
Los parches deben ser aplicados en el interior del domo o cubierta de forma que la presión tienda a mantenerlos en su lugar y prevenir la formación de una cavidad o depresión para acumulación de incrustación y lodos; hay tres métodos de fijar los parches a las cubiertas y domos de las calderas:

- . por atornillado, conocido como parche blando
- . por remaches, conocido como parche duro
- . por soldadura, cuando el parche se agarra en su lugar por tornillos de refuerzo

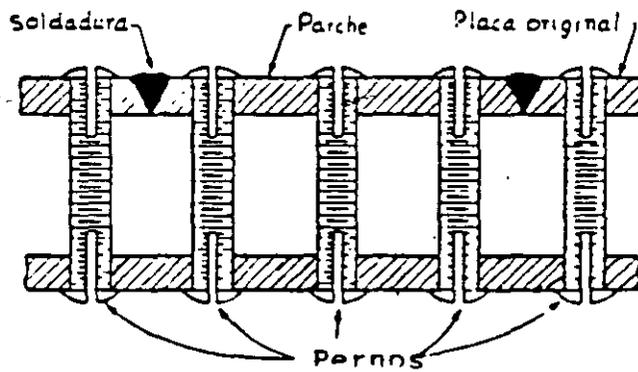
Los parches blandos se colocan en posición y se fijan con tornillos, los tornillos pasan a través del parche y penetra en agujeros roscados en la cubierta, esto elimina la necesidad de topes o agarres como en el caso de remaches. El parche se aplica en el interior de la cubierta sobre la sección defectuosa y se usan empaques entre el parche y la cubierta para prevenir fugas, éstos parches no son adecuados en áreas donde el calor transferido es alto o en calderas de alta presión, y se deben considerar de naturaleza temporal y reemplazar con un parche remachado o soldado tan pronto como sea posible.

Los parches duros o remachados son reparaciones permanentes de calderas, domos y cubiertas, la sección fallada se corta y se quita, y se aplica el parche empleando una placa de cuando menos el espesor de la placa que está siendo parchada, pero no mayor de 1/8 de espesor. El tamaño de los remaches y el espaciamiento se arreglan en tal forma que la junta en una área sin soportar sea al menos igual en resistencia a la parte más débil de la cubierta.

Todo los calafateados de juntas, parches y remaches deben hacerse en el interior de la caldera, en donde sea posible, como una precaución contra la fragilización cáustica (Fig. . . .); si se encuentran dificultades continuas con fugas en la junta o alrededor de los remaches, se tiene que inspeccionar la caldera.



CALAFATEADO EN JUNTA REMACHADA



PARCHE EN PIERNA DE AGUA

Remueva un remache y hágale una prueba de metal en un laboratorio para determinar la resistencia a la tensión y otras propiedades físicas; si se encuentra una grieta en una junta longitudinal de la caldera, se deberá sacarla de servicio. Este lugar es difícil de parchar satisfactoriamente debido a los esfuerzos a que está sujeto, y en muchos casos una caldera en estas condiciones se discontinua permanentemente del servicio.

Las fallas pueden ocurrir en la placa y en los tornillos de refuerzo de las piernas de agua en las calderas de tubos de agua; la placa no puede ser reparada con remaches porque solo es accesible por un lado. La soldadura de campo está permitida siempre que suficientes tornillos de refuerzo estén incluidos en el parche para soportar la presión sin considerar la resistencia de la soldadura; el metal quemado debe removerse y el parche ajustarse en el lugar y soldarlo de acuerdo con los estándares establecidos (Fig.). Con el parche en su lugar perfore y rosque lo necesario en los agujeros de los nuevos tornillos de refuerzo y rosque los viejos; inserte los nuevos tornillos de refuerzo y remache sobre los extremos para hacerlos herméticos. Finalmente perfore los agujeros del indicador.

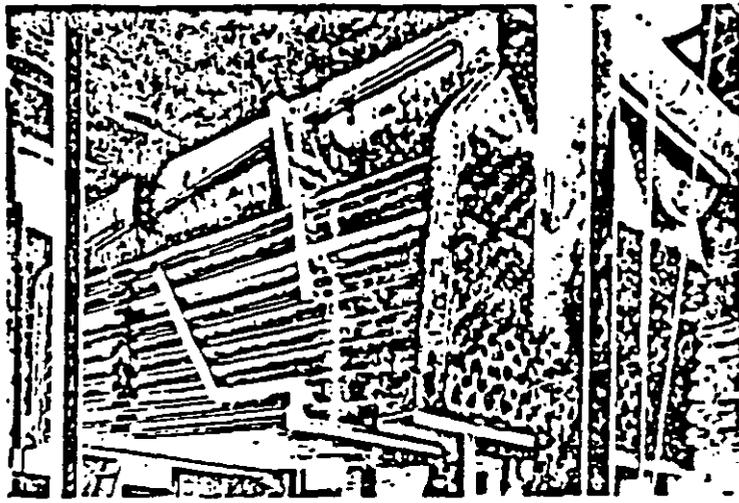
Las soldaduras de campo no pueden aplicarse en forma general a las calderas a menos que la sección soldada sea relevada de esfuerzos de acuerdo con los requerimientos de código y se radiografie, la soldadura sin relevado de esfuerzos y sin radiografiar están restringidas a usarse como un sello donde no se requiere resistencia de partes a presión de la caldera

Mamparas (baffles)

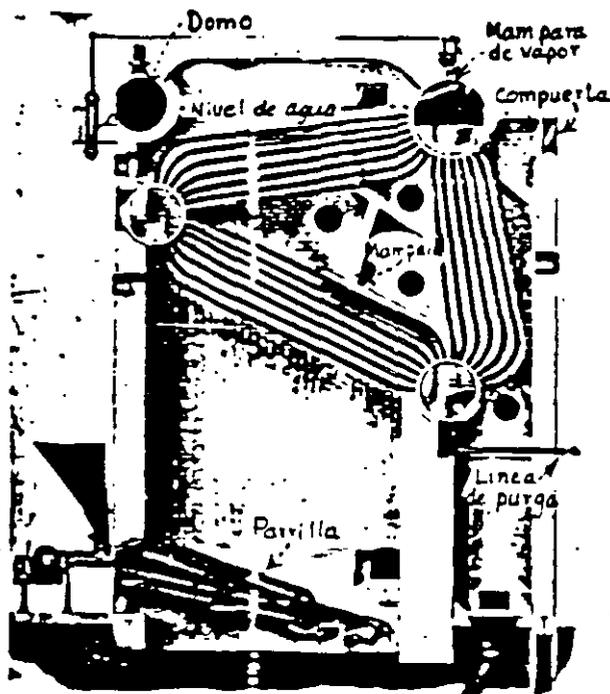
Algunos tipos de calderas requieren mamparas para dirigir efectivamente los gases para la máxima transferencia de calor a los tubos (Fig.), las mamparas de las calderas están hechas de refractario, aleaciones o acero normal, dependiendo de la temperatura de los gases a los cuales están expuestas

Las mamparas de refractario se usan cerca del hogar en donde hay alta temperatura, y se construyen de formas especiales de refractario, hechas para ajustar exactamente al lugar. Algunas mamparas descansan sobre hileras de tubos, y otras van en ángulo a través de los tubos; para hacer reparaciones es necesario obtener las formas de refractario para la aplicación específica, y esto requiere habilidad y paciencia para insertar estas formas de bloques o ladrillos en las mamparas que están a un ángulo con los tubos (cuando los tubos pasan a través de la mampara).

Mamparas de una pieza (monolíticas) en calderas de tubos rectos se muestran en la Fig. ; estas mamparas están hechas de material refractario moldeable, y se construyen formas para retener el refractario y producir la mampara que dirija el flujo de gases.



MAMPARA MONOLITICA EN UN DOMO DE CALDERA DE TUBOS DE AGUA



CALDERA DE TUBOS DE AGUA, 4 DOMOS



ACERO SOPORTE PARA UN ARCO DE REFRACTARIO PLASTICO EN EL HOGAR

Cuando los tubos pasan a través de las mamparas, se pueden hacer las formas pasando tiras de madera abajo a ambos lados del espacio donde se instala la mampara, estas tiras retienen el material refractario conforme es trabajado entre los tubos. El material se cura o fragua y las tiras de madera se queman cuando la caldera se pone en servicio, en algunos casos es recomendable envolver o enrollar papel duro alrededor de los tubos antes de la aplicación del material de la mampara. Este papel se quema dejando un espacio alrededor de cada tubo para permitir la expansión y el reemplazo del tubo; algunos materiales de mamparas se encogen lo suficiente para proveer el claro necesario alrededor de los tubos

Las mamparas también se hacen de metales resistentes al calor; un método es perforar una simple placa de metal para recibir los tubos. Esta mampara de placa simple de metal es difícil de reparar y causa interferencia cuando es necesario reemplazar tubos, por lo que es preferible usar mamparas compuestas de formas de tiras de metal que se ajusten a los tubos. Estas tiras se insertan entre los tubos y se atornillan juntas con barras de amarre para formar una mampara completa, el mantenimiento de estas mamparas puede hacerse reemplazando las tiras individuales. Las secciones pueden sacarse para facilitar el reemplazo de tubos y luego re-ensamblarse.

Paredes de hogar

Algunas calderas y hogares requieren paredes refractarias (Figs). éstas paredes refractarias significan una parte apreciable del mantenimiento de la caldera, por lo que es importante hacer un esfuerzo para reducir estos gastos.

Las paredes refractarias sólidas están revestidas con ladrillo refractario de primera calidad, en muchas ocasiones este revestimiento puede ser parchado o reemplazado sin reconstruir la pared completa si la reparación se hace antes que la sección exterior se haya dañado demasiado. El revestimiento debe ser "acuñado" a la pared exterior y se deben proveer juntas de expansión.

Las paredes refractarias enfriadas con aire se construyen para proporcionar un espacio de aire entre la pared exterior y el revestimiento refractario; éste revestimiento puede ser una pared separada construida de ladrillo de primera calidad, material refractario moldeable o bloques soportados por colgantes de hierro colado. La circulación de aire a través del espacio entre dos paredes arrastra afuera algo de calor, resultando en una reducción en la temperatura de la pared y en una posible disminución del mantenimiento. El revestimiento debe estar ligado adecuadamente a la pared exterior para prevenir expansión y contracción que causen pandeo y caída dentro del hogar; los colgantes de hierro colado proveen soporte adecuado para los bloques de revestimiento, sin embargo el costo inicial de estas paredes es alto y se deben almacenar muchas formas de bloques para reemplazos. Una vez que el revestimiento ha fallado, los colgantes de hierro colado son destruidos rápidamente por el calor del hogar.

que deben considerarse cuando se selecciona el revestimiento refractario para la

Se debe dar una consideración a la
temperaturas de operación

características de la ceniza

formación de escoria

incidencia de flama

Si la temperatura de fusión del revestimiento no es lo suficientemente alta para las temperaturas de operación, la superficie interior se vuelve blanda y en casos extremos se funde y fluye, resultando en un rápido deterioro.

La fusión de cenizas en la superficie de la pared causa que la cara interna se astille, esto es, que se rompa y caiga

La remoción de clinker ya sea con la unidad operando o con esta fuera de servicio para mantenimiento, invariablemente romperá algo del revestimiento del hogar.

La incidencia de la flama resulta en una alta temperatura localizada y en fallas subsecuentes del revestimiento.

Las paredes del hogar (sólidas o enfriadas con aire) y arcos pueden construirse o reconstruirse usando material refractario moldeable que se suministra en condición húmeda para su colocación en el lugar; para mantener en su lugar el revestimiento se emplean cuñas hechas de metal resistente al calor o bloques refractarios, o bien una combinación de ambos materiales. El material refractario se coloca en su lugar con un martillo neumático; se deben proveer juntas de expansión a ciertos intervalos para prevenir el desarrollo de fuerzas excesivas.

En la Fig. se muestran ángulos de acero en su lugar para soportar un arco refractario moldeable; los colgantes se unen a éstos ángulos y quedan embebidos en el arco refractario. Para soportar el arco durante construcción se emplean formas de madera; el material refractario se coloca en su lugar alrededor de los insertos y se deben proveer juntas de expansión adecuada.

En donde el servicio es especialmente severo causando salidas y reparaciones costosas, es ventajoso usar ladrillos o bloques especiales de alta calidad y alto costo; frecuentemente estos materiales se emplean en las paredes justamente arriba de emparrillados (stokers) alimentados por abajo, en donde hay una combinación de alta temperatura y contacto con ceniza y clinker.

Estos materiales también se emplean en los arcos de la pared frontal en los emparrillados de esparcido (spreader-stoker) y en los entrepaños de pared de los alimentadores.

Las paredes de agua se instalan para reducir el mantenimiento, y a menos que no se aplique bien o se abuse, rara vez requieren reparaciones; el procedimiento de mantenimiento depende del tipo de construcción de la pared de agua, si los tubos mismos son los que fallan, la reparación es similar a las de reemplazo de cualquier otro tubo de caldera.

Los bloques de hierro colado usados en algunas paredes de agua puede ser necesario que se reemplacen después de un largo servicio continuo; en este caso, el reemplazo se hace limpiando primero la superficie del tubo y luego aplicando pegamento o cemento conductor de calor, y finalmente atornillando en forma segura el nuevo block en su lugar.

Se deben hacer reparaciones y reemplazos al equipo de la caldera con suficiente frecuencia para evitar que trabajos pequeños se desarrollen en proyectos grandes, como la reparación de la pared del hogar antes de que se dañe el trabajo de acero. No se remueva ni reemplacen partes buenas para el servicio; se espera y es permisible algo de adelgazamiento en las paredes del hogar y quemado de las fundiciones del emparrillado.

Las reparaciones del equipo generador de vapor debe cumplir exactamente los requerimientos; todos los materiales y la construcción de los trabajos de reparación deben cumplir con los requerimientos de códigos. No deben hacerse reparaciones de soldadura la caldera sin la aprobación de un inspector autorizado; dichas reparaciones de soldadura deben ser acompañadas de las necesarias pruebas no destructivas y pruebas hidrostáticas para asegurar que se tiene la integridad de la soldadura

VIII.-

SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

Las necesidades de unir materiales de las instalaciones de las plantas industriales son extremadamente importantes y van en aumento cada día, sin embargo, existen muchos problemas debido al gran número de combinaciones de las siguientes variables.

- Diferentes tipos de equipos de soldadura
- Diferentes tipos de materiales de soldadura
- Diferentes clasificaciones de materiales a ser soldados
- Diferentes métodos empleados para realizar las operaciones de soldadura

Para asegurarse que la soldadura es adecuada para el propósito intentado, se requiere definir un método uniforme para realizar el proceso de soldadura, mediante un procedimiento en donde se especifique con significativo detalle para cada uno.

- Tipo de equipo a ser usado
- Materiales que pueden ser unidos por soldadura
- Materiales de soldadura permisibles
- Método para realizar la operación de soldadura
- Configuración permisible de la junta de soldadura
- Necesidades de tratamiento de precalentamiento o postcalentamiento (relevado de esfuerzos).

Adicionalmente cada procedimiento de soldadura debe ser clasificado en la forma siguiente:

- Mediante la aprobación satisfactoria de una prueba de soldadura sobre una probeta producida, realizando una soldadura real de acuerdo con el procedimiento que está siendo calificado; los métodos y procedimientos de prueba son los establecidos por los códigos ASME (American Society of Mechanical Engineers) e incluye lo siguiente:

- a.- Pruebas de flexión
- b.- Pruebas de tensión
- c.- Análisis radiográfico
- d.- Análisis químico

- Aprobación de cada soldador individual de una prueba similar a la prueba de soldadura descrita antes, sobre una muestra de junta de soldadura sujeta a las mismas pruebas, con lo cual el soldador queda calificado para el procedimiento en particular.

Un soldador calificado puede perder su calificación en los siguientes casos:

- Si produce un número determinado de soldaduras malas
- Si no realiza una soldadura satisfactoria usando un procedimiento especificado dentro de un período de tiempo establecido por código o por proyecto.

La calificación perdida en la forma anterior puede recuperarse produciendo soldaduras aceptables bajo examen radiográfico.

Los equipos para soldadura con arco eléctrico se encuentran en gran variedad de formas y tamaños, requiriéndose primariamente energía eléctrica; los equipos empleados para soldadura son los siguientes:

- Generadores movidos por máquinas de gasolina o diesel (es el método más caro), que se emplean en la etapa temprana de construcción y en áreas externas alejadas.
- Conjuntos individuales de motor generador, cuando la energía temporal está disponible.
- Unidades tipo rectificador, cuando ya se tiene energía temporal
- Sistema centralizado (cuando el edificio empieza a tomar forma), en donde la unidad de potencia consiste de uno o más paquetes de energía localizados centralmente y conectados a un sistema de red; cuando se usa este sistema, se necesita una pieza secundaria de equipo que es una unidad tipo rectificador, individual o múltiple, que se conecta al sistema de red y se emplea para proveer a cada soldador con la corriente eléctrica necesaria.
- Equipo para realizar las operaciones de precalentamiento y postcalentamiento de relevado de esfuerzos, que consiste de una máquina sencilla de soldadura que alimenta a una bobina de calentamiento por resistencia enrollada y cubierta alrededor del tubo, con control de temperatura manual o automáticamente.
- Cable de soldar eléctrico de calibre grueso en cobre o aluminio para conectarse al equipo de soldadura, empleando en promedio cada soldador 50 m para corriente y 8 m para tierra, con un régimen de reposición anual de 15 %; los cables tienen conectores macho-hembra y cubierta protectora para no exponer partes metálicas cuando estén desconectados.
- Equipo para el soldador como casco, careta, guantes, protectores, etc.; en áreas excepcionalmente calientes o cuando la soldadura produce flamas tóxicas, puede ser necesario equipar la careta del soldador con una manguera de aire

fresco o equipos auxiliares de respiración. En determinadas circunstancias es necesario emplear rejillas resistentes a la flama y ropas retardantes de la flama.

En general los métodos de soldadura con arco eléctrico, pueden ser clasificados en las tres siguientes;

- a) Soldadura de arco metálico manual, que requiere el empleo de un dispositivo de sujeción manual conectado al cable de soldar para sujetar y maniobrar el electrodo, así como para establecer y mantener el arco de soldadura que se forma al pegar el electrodo con el metal aterrizado, formando una zona de metal fundido que transporta el metal del electrodo para la soldadura.
- b) El método de tungsteno con gas inerte (Tungsten Inert Gas = TIG) se emplea mucho para soldar aceros ~~austeníticos~~ ; en este método, el sujetador del electrodo tiene un tubo conectado a un suministro de gas inerte (Argon o Helio) que rodea el arco de soldadura y el electrodo es un alambre de Tungsteno que se dirige a un punto en el final del arco, con lo que éste se encuentra dentro de un cono de gas inerte. Cuando se usa metal de relleno, se suministra por una varilla de alambre desnuda alimentada al área de metal fundido del arco. El gas inerte puede suministrarse de cilindros individuales o de un sistema centralizado, necesitándose en ambos casos un regulador de flujo para alimentar la cantidad apropiada de gas.
- c) El método metálico con gas inerte (Metal Inert Gas = MIG) es un proceso similar al TIG, solo que en lugar de emplear electrodo de tungsteno utiliza para el relleno un alambre metálico alimentado por un motor a través del sujetador y se emplea para establecer el arco; este método se aplica en trabajos de placas planas, y en tubería con máquinas automáticas principalmente.

Los tres métodos anteriores son los que principalmente se usan para los trabajos de campo en soldadura manual, teniéndose a la fecha todavía muchos problemas para el empleo de máquinas de soldadura automática a pesar de las ventajas significativas que tiene, entre las que se encuentran las siguientes:

- Menores horas-hombre para realizar una soldadura
- Alta calidad del trabajo producido con lo que se tiene una gran economía al no tener que hacer trabajos de reparaciones de soldadura
- No se requiere contar con muchos soldadores calificados.

La soldadura es una de las actividades de construcción que requiere mayor verificación de control de calidad; en el caso de sistemas nucleares o de seguridad, el control que se realiza es el siguiente:

- Cada parte conectada con soldadura debe ser completamente verificada y documentada
- Cuando llegan las varillas de soldadura al almacén, debe verificarse la certificación del material
- Las varillas de soldadura se proporcionan al campo, únicamente después de que la documentación de sus propiedades físicas y químicas ha sido aprobada

- Los soldadores deben de obtener las varillas de soldadura de un almacén controlado
- En la orden al almacén por soldadura debe especificarse:
 - tamaño y tipo de varilla
 - número de material
 - soldador que saca la varilla
 - soldadura de campo donde se utilizará
- El número de varillas que se sacan deben ser contadas y verificadas por el soldador
- Las varillas que no se usan y las quemadas parcialmente deben regresarse al almacén.
- Cualquier diferencia entre las varillas sacadas y usadas y regresadas al almacén, debe documentarse

Se deberán mantener registros en archivos de cada soldadura en la que trabaje un soldador en que se incluye:

- Fecha
- Procedimiento usado
- si la soldadura fue aceptada o rechazada
- Fecha de calificación de cada procedimiento
- Fecha en la que el soldador, hizo la última soldadura de cada procedimiento
- Indicación si el soldador se esta aproximando al limite de tiempo permitido entre soldaduras de cualquier procedimiento.

Cuando un soldador ha producido una soldadura inaceptable en un procedimiento, se deben inspeccionar en este procedimiento el 100 % de soldaduras en lugar del 10 % que indican los códigos.

Deberá mantenerse la historia de la soldadura en donde se indique

- Procedimiento de soldadura usado
- Tamaño, tipo, etc. de varilla de soldadura
- Anillo de respaldo o inserto usado
- Fechas de inicio y terminación

- **Fecha de inspección**

Las actividades que deberán inspeccionarse antes de iniciar la soldadura incluyen las siguientes:

- **Limpieza de la tubería o equipo y la junta**
- **Configuración y condición de la preparación de los extremos de soldadura**
- **Instalación y uso apropiado de anillo de respaldo o insertos consumibles**
- **Alineamiento de la junta con las tolerancias permisibles**
- **Purga correcta del interior de la tubería o equipo a la atmósfera**
- **Flujo correcto de gas inerte**

Las verificaciones de las actividades de soldadura, incluyen la inspección de lo siguiente:

- **Paso del fondo, base o raíz**
- **El comportamiento apropiado**
- **El espesor de la soldadura, si se para el procedimiento**
- **Una inspección visual de la soldadura en cualquier etapa y a su terminación**
- **La temperatura del metal base antes de la soldadura y entre pasos de soldadura**
- **Condiciones bajo las cuales se conserva la varilla de soldadura**

La historia de la soldadura incluye lo siguiente:

- **Notaciones respecto a la condición de la superficie**
- **Altura y ancho de la capa de soldadura**
- **Traslape o recorte**
- **Resultado de inspecciones de partículas magnéticas, líquidos penetrantes, ultrasonido y radiografías.**

TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA Y MUESTREOS

Dosificación Química para Control del Ciclo Agua-vapor

Para evitar que se presenten los daños por impurezas, es necesario llevar un control del ciclo a base de dosificación química y análisis, para mantener las concentraciones de las impurezas dentro de los límites de control requeridos para cada unidad dependiendo de sus condiciones de operación

El tratamiento químico del ciclo se puede dividir en dos:

- A) TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE CALDERA Y
- B) TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE ALIMENTACION

A. Tratamiento Químico del Agua de Caldera

Existen varios tipos de tratamiento para el agua de caldera

1. Control por fosfatos:

Para evitar que las sales de calcio y magnesio formen una incrustación en la caldera, el tratamiento interno, debe precipitarlos como lodos, manteniéndose este lodo en forma fluida para eliminarlos mediante purgas. La eliminación del calcio se considera más problemática que la del magnesio ya que este es rápidamente precipitado por la alcalinidad del agua de caldera formando hidróxido de magnesio. La sustancia química más comúnmente usada para la precipitación de las sales solubles de calcio son los fosfatos, estos reaccionan con el calcio para formar fosfato tricálcico que es un lodo no adherente. Para que esta reacción tenga lugar, debe existir suficiente alcalinidad en el agua de caldera para mantener un P.H. superior a 9.5 y asegurar la precipitación del fosfato tricálcico, los fosfatos mono y dicálcico son precipitados adherentes difíciles de eliminar por la purga.

La dosificación del fosfato, se debe efectuar directamente al domo superior, ya que por la rápida reacción con el calcio, si se dosifica en la línea de agua de alimentación, puede ocasionar precipitados y depósitos en tubería y válvula, que pueden obstruir el flujo o la operación de los equipos de control.

La dosificación de fosfatos no es continua, sino que se dosifican de manera tal, que siempre se mantenga un residual de PO_4 dentro de ciertos límites.

a. Tratamiento Cáustico:

Se controla el PH para prevenir la formación de incrustación mediante la inyección de sosa cáustica y fosfato trisódico. Este tratamiento generalmente se utiliza en calderas de baja presión ya que el NaOH puede causar severos problemas de corrosión cáustica en calderas de alta presión.

b. Control Coordinado P.H.-fosfatos

Utilizado en unidades operando a una presión de 600 psig. en adelante, con el objeto de reducir al mínimo la corrosión cáustica.

Se ajustan las características del agua de caldera de tal manera que se tenga una relación fosfato-álcali aproximado a la hidrólisis estequiométrica del fosfato trisódico. Se selecciona el fosfato a dosificar de tal manera que al adicionar el fosfato el P.H. se mantenga abajo de la curva en la gráfica P.H.- PO_4 (ver figura N°. IX.1). De esta manera no existirá hidróxido de sodio libre, entendiéndose por hidróxido de sodio libre la cantidad de NaOH en solución en exceso derivada de la hidrólisis del fosfato trisódico de acuerdo con la siguiente ecuación:



c. Control Congruente:

La corrosión cáustica se ha llegado a presentar aún cuando se observe estrictamente el control coordinado de PH-fosfatos.

Se han propuesto varias explicaciones a ello y la más aceptable establece que al precipitar el fosfato de una solución sobresaturada, no lo hace exclusivamente como fosfato trisódico sino como fosfato trisódico y disódico con el resultado de que el agua de caldera contendrá un exceso de hidróxido de sodio libre.

Las composiciones congruentes, aquellas en las cuales la fase sólida es igual a la fase líquida, corresponden a las relaciones molares de sodio fosfatos de 2.65 68°F y de 2.85 a 572°F. Se prefiere mantener la relación Na a PO_4 debajo de 2.6.

Dependiendo de los contaminantes que entren a la caldera se puede mantener el control entre estos límites por adición adecuada de los diferentes tipos de fosfatos.

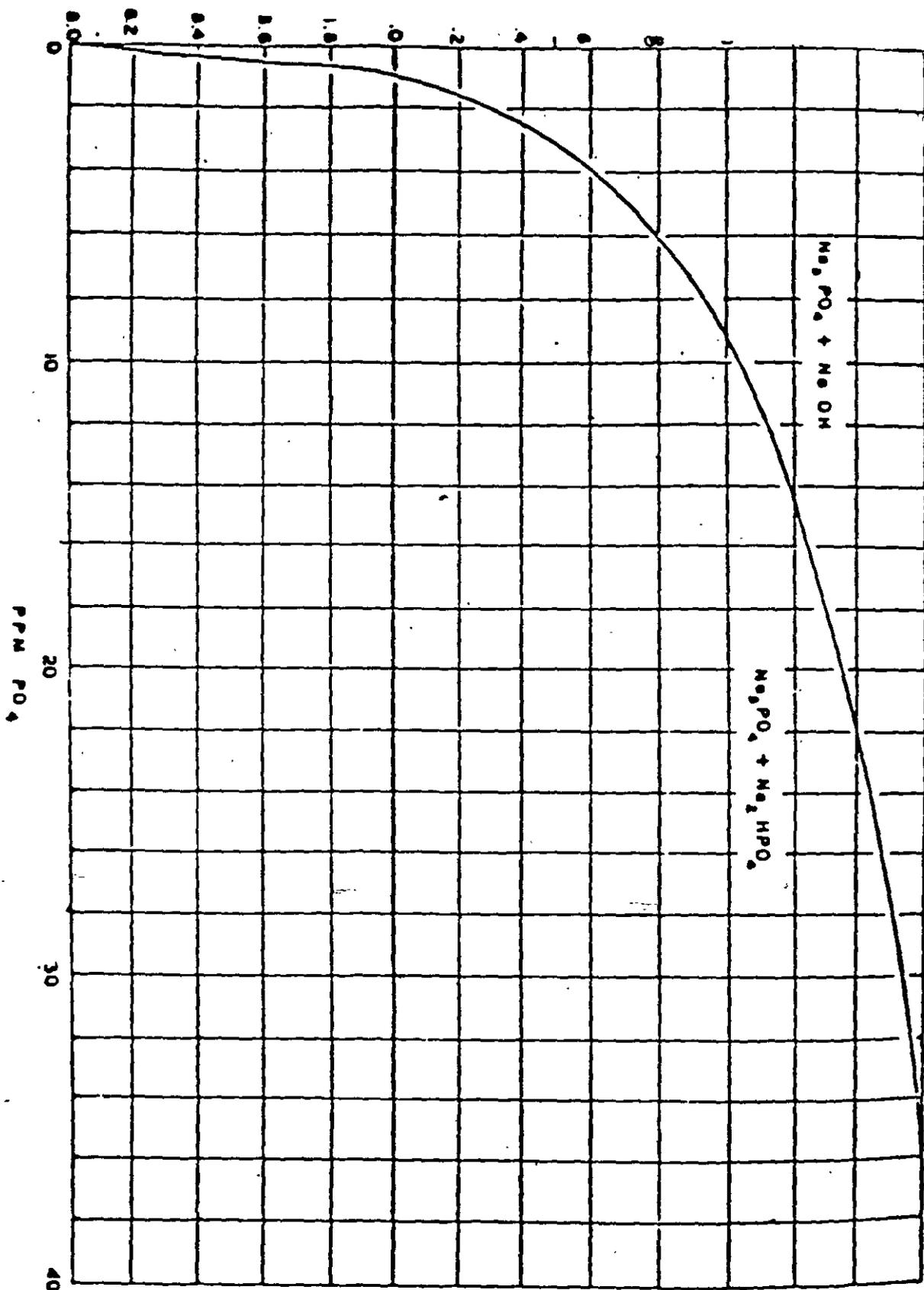


Figura IX.1 Curva para el Control Coordinado de Fosfatos-PH, Nivel Bajo para Uso en Calderas de Alta Presión.

La relación entre la razón de mezcla de fosfato disódico y fosfato trisódico razón molar $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ se muestra en la siguiente tabla.

No.	RAZON DE MEZCLA		RAZON MOLAR
	Na_3PO_4	Na_2HPO_4	$\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$
1	1.0	0	3/1
2	0.9	0.1	2.9/1
3	0.8	0.2	2.8/1
4	0.7	0.3	2.7/1
5	0.6	0.4	2.6/1
6	0.5	0.5	2.5/1
7	0.4	0.6	2.4/1

La Fig. N° IX.2 muestra la curva de control congruente P.H.- PO_4 $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$. En ella se tienen los valores de P.H. en función de la concentración de fosfato para diferentes relaciones molares de $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

Este tipo de control es utilizado en calderas que operan a presiones superiores a 1500 psig.

2. Tratamiento volátil

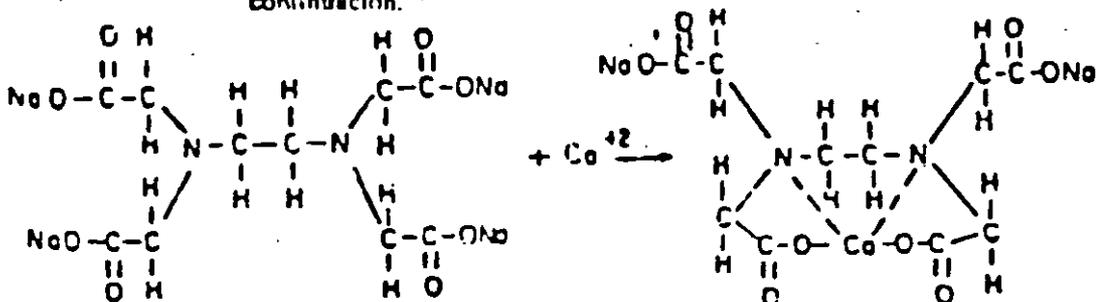
Es el control de P.H. del agua de caldera mediante productos volátiles tales como la hidrazina, amoníaco, morfina y ciclohexilamina).

Este tipo de tratamientos son recomendados para calderas que operan a presiones hasta de 2400 psig, donde el fenómeno de hide-out (enmascaramiento) de fosfatos ocurre algunas veces.

Sin embargo el control congruente de fosfatos debe ser usado en el caso de posibles incrementos de dureza del agua de alimentación por fugas del condensador.

3. Control por quelatos:

Los quelatos reaccionan con los cationes divalentes y trivalentes para formar compuestos solubles complejos que son estables térmicamente, los quelatos más comúnmente utilizados con este fin, son sales del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y del ácido nitrilotriacético (NTA). Su reacción con el calcio se muestra a continuación.



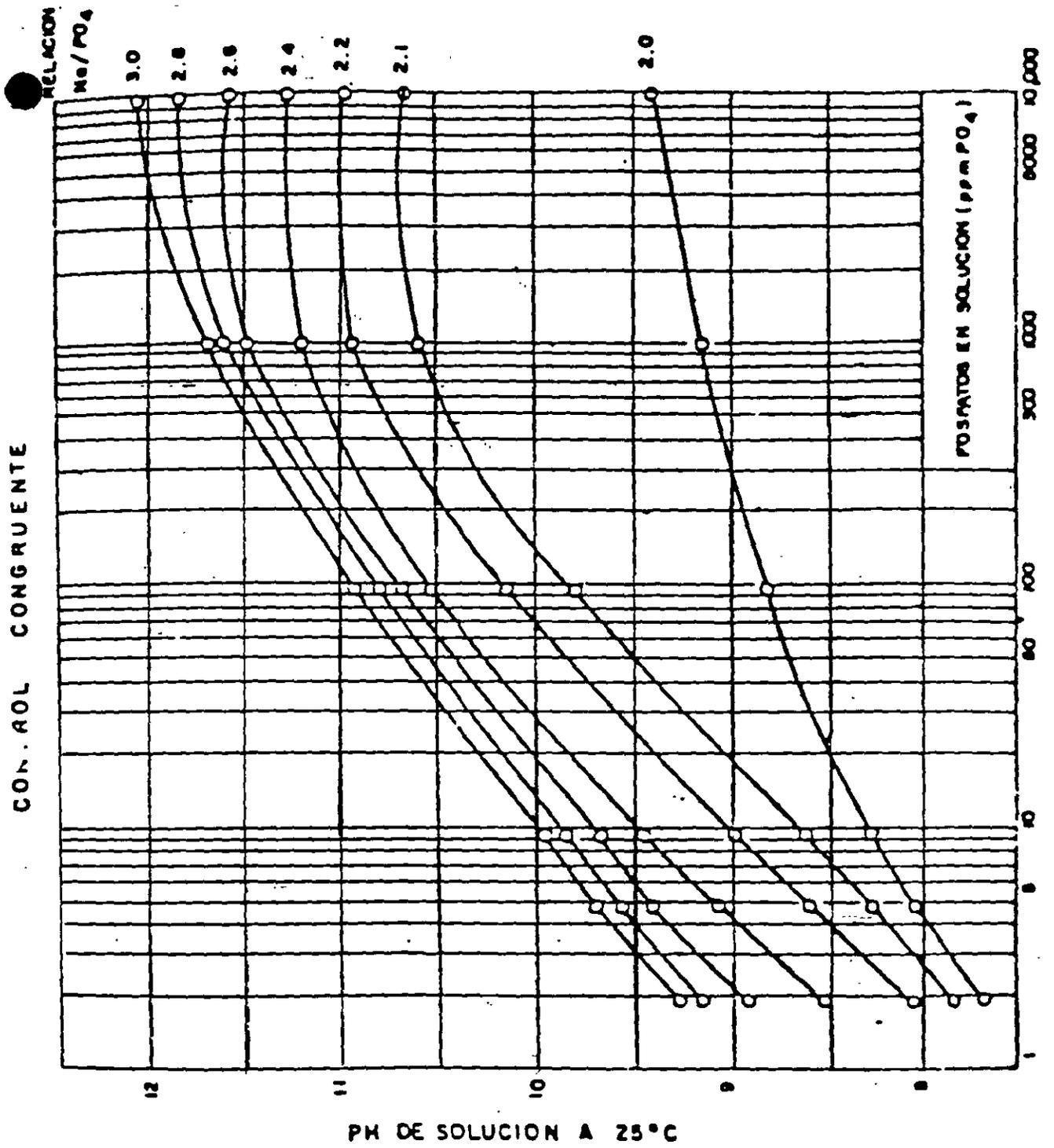
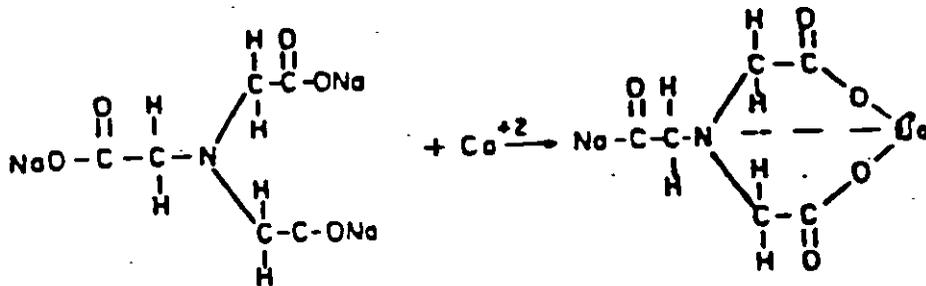


Figura IX.2 PH de Solución a 25°C



REACCION DEL NTA CON EL CALCIO

Ambos quelatos se descomponen a temperaturas altas. Generalmente el NTA se emplea en calderas con presiones inferiores a 900 psig, mientras que el EDTYA se emplea hasta 1200 psig. Los fosfatos constituyen un tratamiento por precipitación, mientras que los quelatos los constituyen por solubilización.

B) Tratamiento Químico del Agua de Alimentación

Este se efectúa con la finalidad de eliminar principalmente el oxígeno que trae consigo. La presencia de este oxígeno ya en la caldera, ocasionará la corrosión por picaduras. Aparte este oxígeno puede favorecer otros tipos de corrosión como la corrosión de cobre por amoníaco. Es esencial la eliminación del oxígeno para evitar la corrosión del generador de vapor. Inicialmente se acostumbra su eliminación mecánica mediante desaeradores.

Esta deaeración mecánica se aplica no únicamente al agua de repuesto, sino a toda el agua de alimentación. Bajo condiciones óptimas es posible reducir el oxígeno disuelto en el agua hasta concentraciones tan bajas como 0.007 ppm.

El remanente de oxígeno después de esta deaeración mecánica, será eliminado mediante medios químicos utilizando las siguientes sustancias químicas :

1. Sulfito de sodio

El sulfito de sodio se ha utilizado desde hace mucho tiempo como un eliminador de oxígeno en agua de calderas. Reacciona rápido particularmente a elevadas temperaturas formando sulfato de sodio de acuerdo a la siguiente reacción:



Actualmente es utilizado en plantas con baja y moderada presión, siendo prohibitivo su uso en calderas de alta presión debido a una potencial descomposición térmica como sigue:



La reacción anterior se inicia a presiones de 600 psig, aún cuando usualmente no crea problemas sino hasta presiones mayores de 900 psig. El principal problema asociado con la descomposición del sulfito de sodio es la formación de gases corrosivos como el bióxido de azufre y el ácido sulfhídrico. Otra desventaja es el aumento del contenido de sólidos disueltos por presencia del sulfato de sodio, lo que propicia el arrastre y la necesidad de purgas.

En calderas que utilizan el control coordinado P.H.-PO₄ el uso de sulfito de sodio no es deseable ya que la introducción de iones altera el balance entre Na y PO₄.

2. Hidrazina

Para calderas de alta presión se emplea como agente reductor la hidrazina (N₂H₄). Reacciona con el oxígeno disuelto del agua de acuerdo a la siguiente reacción:



Es importante hacer notar que los productos de la reacción de la hidrazina a diferencia de los del sulfito de sodio, no añaden sólidos disueltos al agua de caldera y además son inertes. Aparte de los anteriores, formará magnetita y óxido cuproso que son los óxidos estables del hierro y del cobre haciendo a estos materiales y a sus aleaciones menos susceptibles a la corrosión.

La hidrazina se alimenta en forma continua después del condensador o a la salida del deaerador en cantidad suficiente para mantener un residual en caldera entre 0.002 y 0.020 ppm. como N₂H₄.

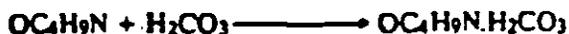
Entre 231 y 518°F la hidrazina aumenta su volatilización con lo cual protegerá el sistema post caldera al elevar el P.H. y pasivar las superficies del metal, a 518°F y arriba de esta temperatura la hidrazina se descompone conforme a la siguiente reacción:



Esta reacción ocurre relativamente despacio, pero se acelera conforme aumenta el nivel de hidrazina. Un inconveniente de esta reacción, es la creación de amoníaco, el cual puede atacar al cobre y sus aleaciones en presencia de oxígeno.

3. Aminas neutralizantes

Normalmente se denominan aminas neutralizantes o volátiles y actúan neutralizando el ácido carbónico, elevando el P.H. La morfolina y la ciclohexilamina, son las aminas neutralizantes más comúnmente usadas. La reacción para la morfolina es la siguiente:



Las aminas difieren en costo, reacción y relación de distribución vapor-líquido. Una utilidad muy interesante de las aminas neutralizantes es la prevención de la corrosión en el extremo húmedo de las turbinas. En esta sección la humedad condensada y la alta velocidad, tienden a eliminar la película protectora de óxidos, siendo necesario mantener un P.H. alto en esta zona. La morfolina es particularmente útil con este propósito porque es menos volátil que la ciclohexilamina.

4. Aminas fílmicas

Las aminas fílmicas funcionan de manera distinta a las neutralizantes, en vez de neutralizar el bióxido de carbono, forman sobre la superficie metálica una película que actúa como barrera entre el metal y el condensado, protegiendo al primero del ataque del oxígeno y el bióxido de carbono.

Su dosificación, deberá ser continua y una vez formada la película, ésta es durable y no se elimina en períodos cortos de suspensión del tratamiento.

Las aminas fílmicas de valor en la prevención de corrosión, son aminas de alto peso molecular con cadenas rectas conteniendo de 10 a 18 átomos de carbón tales como la octadecilamina ($\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{NH}_2$) y la hexadecilamina ($\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{NH}_2$).

La película de las aminas fílmicas, por ser muy delgada impide la transmisión de calor y aparte de lo anterior, tiene la habilidad de remover depósitos antiguos de productos de corrosión.

Muestreo y Análisis

Para llevar un adecuado control de la concentración de impurezas en el ciclo agua-vapor, así como de las especies químicas inyectadas para evitar problemas de corrosión e incrustación, es imprescindible la toma de muestras en distintos puntos del ciclo para su análisis.

El control satisfactorio de la calidad del agua en una planta de vapor depende de numerosos factores, entre los cuales, las pruebas frecuentes de control y su interpretación son de importancia fundamental.

La magnitud del trabajo analítico variará con el diseño de la planta, las facilidades suministradas para el tratamiento de agua y los controles químicos requeridos.

El programa de frecuencia de análisis de agua, y la selección de los métodos a seguir, requiere de un estudio adecuado para cada planta en particular.

Deberán proporcionarse facilidades para muestrear el agua a través de todo el ciclo: agua de alimentación, agua de caldera, vapor saturado y sobrecalentado, condensado de vapor, agua deareada y calentadores de agua de alimentación

Debido a los problemas presentados en las unidades que operan a alta presión, en las nuevas plantas se instalan tableros de análisis continuos para tener medición todo el tiempo, de los parámetros más importantes a controlar. Así, en las nuevas centrales generadoras se tienen los siguientes análisis continuos:

P.H. - Condensado, Agua de alimentación, agua de caldera, deareador, vapor principal, vapor saturado.

Conductividad específica - en los mismos puntos que el anterior.

Conductividad catiónica - en los mismos puntos que el anterior.

Oxígeno disuelto - en salida del deareador.

Hidrazina - en agua de alimentación.

Sodios - en condensado y vapor principal.

Sílice - en agua de caldera.

Fosfatos - en agua de caldera.

A lo anterior es necesario adicionar, que se pueden ajustar puntos de alarma de acuerdo a los límites de control alto y bajo, de tal manera que se pueda detectar oportunamente cualquier problema de contaminación.

De esta manera en las plantas modernas, además de contar con el sistema de análisis continuos, se efectúan análisis de rutina cuya frecuencia recomendada, se puede apreciar en la tabla fig No. IX-3.

Colección de muestras

Una parte importante del trabajo analítico, es la colección de muestras representativas, las cuales deben ser preservadas en su estado original hasta que pueda hacerse el análisis. Una muestra exactamente representativa es aquella que representa realmente al agua o al vapor en la parte del ciclo en que se ha tomado. No siempre es posible, la perfección a este respecto, pero hasta donde sea posible, las muestras se deberán tomar con este objeto en mente.

Las condiciones del agua y del vapor cambian de vez en cuando, y, en ocasiones, momentáneamente. por lo tanto, es necesario no solo tomar las muestras cuidadosamente, sino considerar también la influencia de las condiciones de operación en dicho momento, de modo que los resultados analíticos se puedan evaluar apropiadamente, o, en algunos casos, deberán tomarse muestras individuales durante dos períodos de carga promedio o bajo condiciones de carga en especial.

No.	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE ANALISIS Y FRECUENCIA DE MEDICION											
		P.H.	CONDUCTIV.	O ₂	SiO ₂	Fe	Cu	PO	F	N	Cl	N ₂ H ₄	NH ₃
1	DESCARGAS BOMBAS DE CONDENSADO	⊗	⊗	△	○		⊗				○		○
2	DEAREADOR												
	ENTRADA	△	△	⊗									
	SALIDA	⊗	⊗	⊗									○
3	SALIDA DE CALENTADORES	⊗	⊗			⊗	⊗						
4	AGUA DE CALDERA	⊗	⊗		○	⊗		○	○	○	○	○	
5	VAPOR SATURADO	△	△		△								
6	VAPOR PRINCIPAL	⊗	⊗		○								
7	AGUA DE ALIMENTACION	⊗	⊗		○	⊗						○	

	INSTRUMENTO DE MEDICION CONTINUA
	2 VECES A LA SEMANA
	3 VECES AL DIA
	EN MOMENTOS NECESARIOS

Figura IX.3

En la mayor parte de los casos, las muestras de agua deberán tomarse en recipientes de 500 a 1000 ml de agua manteniendo el tapón en su lugar cuando no se retire la parte requerida de la muestra. Para determinaciones muy exactas de sílice, se recomiendan recipientes de hule o plástico. Independientemente del tipo de recipientes, se deberá establecer la regla general, de hacer los análisis tan pronto como sea posible después del muestreo.

Antes de tomar muestras de una línea de la que no se toman muestras con frecuencia, la línea de muestreo debe purgarse no solamente para eliminar toda el agua estancada sino también para dar un lavado adicional que remueva cualquier sedimento u otra impureza que esté presente.

Las muestras deberán tomarse en lugares tan cercanos al punto de muestreo como sea posible y sus líneas y enfriadores no deberán tener trampas que puedan almacenar materia en suspensión antes de llegar a la botella de muestreo.

Regulación de la temperatura

La regulación de la temperatura de muestras de agua para indicadores o registradores de conductividad y P.H. es un punto de atención especial para obtener resultados comparables. La temperatura ideal es 25°C.

Las nuevas centrales, que utilizan sistema de análisis continuo, están equipadas con sistema adicional al sistema de enfriamiento de muestras denominado sistema de agua helada.

X.- PROCEDIMIENTO DE HERVIDO DE CALDERAS, LIMPIEZA QUÍMICA Y ALMACENAMIENTO

Cuando una caldera nueva se pone en servicio por primera vez o después de una reparación mayor, ésta se puede limpiar hirviéndola con una solución detergente y alcalina para retirar todas las sustancias extrañas, principalmente aceite y grasa de la superficie de metal de la caldera, paredes de agua, economizador y sobrecalentador. Si el sobrecalentador es del tipo no drenable, no debe intentarse su hervido. Se sugiere la instalación temporal de cristales de nivel durante las operaciones de hervido ó limpiar los cristales después del mismo.

Un tratamiento como el que se emplea para este propósito requiere una solución de 2 Kg. de cada uno de los siguientes reactivos para cada 1000 Kg de agua contenidos por las partes a presión a limpiarse: Carbonato de sodio (Na_2CO_3), Fosfato trisódico dodecahidratado ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), Sosa cáustica (NaOH) o detergente Dow F-57 a 0.025% por volumen, es decir, 2 litros por cada 4,000 lts. de agua.

La soda ash, al ser calentada con el agua, forma hidróxido de sodio dando como resultado un PH alto (13 aprox.). Este PH alto, a la temperatura del hervido, tiende a disolver la sílice, así como a emulsionar los aceites, grasas y otros agentes similares dentro de las calderas.

El fosfato trisódico se usa por su acción detergente. Se obtiene comercialmente en su forma dodecahidratado, es decir, sus cristales se componen de 12 partes de agua por una parte de sal. La dosificación de 2 kg por cada 1000 lt de agua está basada en el dodecahidrato.

Si solo puede conseguirse fosfato trisódico anhidro, es decir, puro, entonces se reduce la dosificación al 50%, o sea, 1 kg. por cada 1000 lt de agua.

Con el objeto de desestimular al máximo el contacto entre el agente disolvente NaOH y la grasa, se recomienda el detergente, el cual disminuye la tensión superficial del agua y promueve la humectación completa. **NO DEBEN USARSE** detergentes ordinarios para uso doméstico. Si no es posible obtener precisamente el DOW F-57, de los representantes de Dow Chemicals, es preferible omitir esta sustancia.

La unidad a limpiar se llena inicialmente hasta la mitad del cristal de nivel con agua caliente de preferencia. Disuélvase las sustancias químicas completamente e introduzcanse gradualmente en el agua, de preferencia a través del registro de hombre en la parte superior. Cierre la caldera y enciéndase un fuego ligero, suficiente para tener circulación positiva en todas las partes de la caldera. Continúese este hervido por unas 24 horas.

Auméntese el régimen de fuego de manera que se llegue a una tercera parte de la presión normal de trabajo o más de 21 kg/cm^2 (300 lb/pulg) para unidades con presión de diseño superior a 63 kg/cm^2 (900 lb/pulg), con el venteo del

sobrecalentador abierto. Púrguese una cantidad equivalente a 1/2 cristal de nivel, dividiendo la purga entre el domo de lodos y las paredes de agua sucesivamente y recupérese nuevamente el nivel con agua limpia y caliente. Repítase lo anterior varias veces hasta que el agua de purga sea clara. Permítase enfriar la caldera y después drénese y lávense las superficies internas por medio de una manguera. Debe darse atención particularmente al lavado de los domos inferiores, cabezales, y todos aquellos puntos en donde las incrustaciones desprendidas, óxido o suciedad, puedan acumularse.

El procedimiento anterior puede substituirse por otras formulas para limpieza u otros procedimientos, siempre y cuando éstos estén aprobados por el fabricante de la caldera o por un consultor calificado.

Limpeza Química

Durante operación normal, depósitos de óxidos metálicos gradualmente crecen en las superficies internas de los tubos, especialmente en las áreas de alto intercambio de calor tales como la zona del quemador de la caldera. Los depósitos deberán periódicamente ser removidos ya que pueden causar sobrecalentamiento, corrosión acelerada y falla de tubos.

Solamente un aspecto de la limpieza química tocaremos en esta sección: **Actividades soporte de mantenimiento.**

Estas actividades soporte, incluyen la instalación, prueba, aislamiento y remoción de tuberías asociados con la limpieza química. Normalmente el proceso de limpieza química se hace bajo la supervisión del grupo de ingenieros de operación y químicos, la sobrecarga para el grupo de mantenimiento es muy larga, con mucho del trabajo empezando cuando hay un paro de calderas.

Actividades Soporte de Mantenimiento

Preparaciones para la limpieza química

La mejor planeación para la limpieza química de una caldera empieza con una junta, durante la cual los químicos a usarse, el tiempo y secuencia de la limpieza y preparaciones de mantenimiento se discuten y confirman. El procedimiento recomendado tiene que incluir a todos los participantes de la limpieza de tal manera que no sólo conozcan su parte sino también las partes de la otra gente

que trabajara durante la limpieza. Las precauciones de seguridad son vitales durante la limpieza y es durante la junta donde se pueden revisar y finalizar

Las preparaciones de mantenimiento son extensas y la siguientes actividades son normalmente requeridas.

- a) Inspección de todas las tuberías temporales que se usarán durante la limpieza. Cualquier tubería corroída, dañada o no adecuada deberá reemplazarse.
- b) Mover los cilindros de nitrógeno al domo superior de la caldera que se usaran durante el drenado.
- c) Instalar las válvulas reductoras de presión en la línea de llenado de hidrógeno.
- d) Instalación de vidrios de niveles temporales en el domo de la caldera. Estos vidrios de nivel deberán protegerse de rupturas o corrupturas accidentales y deberán proveerse con conexiones de venteo y drene adecuadas.
- e) Colocar ventiladores para ventilar las áreas donde tiendan a colectarse gases durante la limpieza
- f) Colocar extensiones de venteos hacia el exterior.
- g) Instalar alumbrado temporal, especialmente en el área de mezclado y bombeo de químicos.
- h) Instalación de tuberías temporales. Las tuberías deberán ser soldadas o bridadas dependiendo de la presión y temperatura usadas. Se podrán usar mangueras flexibles para purgas de agua, líneas de nitrógeno, extensión de venteos y usos similares.
- i) Establecer una restricción de área. El área de limpieza química tiene que ser restringida al uso de flamas abiertas, soldaduras, etc.
- j) Todo el personal de mantenimiento que se requiera estar presente durante la limpieza química, debe tener el equipo apropiado de protección incluyendo goggles

Las actividades de mantenimiento durante la limpieza son relativamente menores si la limpieza marcha bien y no hay fugas o fallas de equipos. No se hacen trabajos en la caldera mientras la limpieza se efectúa y solamente trabajos limitados pueden hacerse alrededor de la caldera.

Después que la limpieza es completada, los trabajos de mantenimiento avanzan otra vez. Deberán desconectarse las tuberías temporales, lavarlas, secarlas y almacenarlas. Los registros del domo, cabezales, tapas de registro de hombre y de mano deberán abrirse para hacer inspección interna y los cabezales internos del domo deberán lavarse para eliminar el lodo remanente.

Cambiar el vidrio de nivel temporal por el vidrio permanente de alta presión reemplazando todos los empaques.

Planeación

La planeación de una limpieza química se tiene que hacer con meses de anticipación para planear cuidadosamente los trabajos y el personal, incluido en la limpieza. Cada grupo de mantenimiento, incluyendo los electricistas, instrumentistas y mecánicos tendrán su propia lista individual de trabajo.

Procedimiento de Lavado Químico

Limpieza ácida

- 1.- Después de que se llena la caldera con agua desmineralizada, debe elevarse la temperatura del agua con encendidos a fuego mínimo o utilizando el agua calentada en el deareador, de tal manera que se maneje una temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en el agua que se va a usar para la limpieza ácida.
- 2.- Llene el tanque de químicos con agua desmineralizada hasta un tercio de su capacidad, agregue inhibidor y mezcle con agua después, agregue la cantidad necesaria de ácido cítrico y los otros químicos especificados. Mezcle todo correctamente en el tanque con la bomba de químicos
- 3.- Antes de enviar la solución ácida a la caldera, asegure lo siguiente:
 - a) Que la válvula de venteo del domo este abierta.
 - b) Que el indicador de nivel provisional del domo este en buenas condiciones.
 - c) La temperatura del agua debe checarsse continuamente y registrarse
- 4.- Vacíe la solución ácida a la caldera, controlando durante una hora por medio de la bomba de circulación de químicos y la bomba de químicos. La temperatura de la solución ácida debe mantenerse entre 75 y 85°C .

Quando el nivel del domo se establece en el indicador, debe operarse continuamente la bomba de circulación de químicos.
- 5.- El nivel del domo durante la limpieza química debe mantenerse en el nivel normal de operación de la caldera
- 6.- Inmediatamente después de vaciar la solución ácida a la caldera deben de tomarse muestras de dicha solución. Estas y las muestras subsecuentes deben ser analizadas de pH y Fe. El muestreo y análisis deben repetirse cada hora hasta que se determine saturación de concentración de Fe. En general, el tiempo de limpieza se efectúa satisfactoriamente en menos de 6 horas.
- 7.- Drene la solución ácida de la caldera. La caldera deberá drenarse completamente por medio de gas nitrógeno ($0.2-0.6 \text{ Kgr/cm}^2$), a través de su línea de venteo de aire.

Lavado con Agua.

- 1.- Llene la caldera con agua desmineralizada a su nivel normal.

- 2.- Operéense las bombas de condensado y circulación de químicos. El agua en la caldera deberá reemplazarse. Esta operación debe continuarse hasta que el pH y la concentración total de Fe sean: $\text{pH} = > 3$ y $\text{Fe} = < \text{ppm}$.

Enjuague con ácido cítrico, neutralización y pasivación

- 1.- Para el enjuague con ácido cítrico establezca la recirculación de agua en la caldera con la bomba de circulación de químicos. La temperatura de esta agua debe aumentarse con inyección de vapor auxiliar. La temperatura del agua a la entrada del calentador de mezcla deberá ser de $30^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Una vez que se alcanza la temperatura de 30°C se termina la operación de precalentamiento.

Llene la caldera con solución de ácido cítrico controlando durante 30 minutos por medio de las bombas de circulación de químicos y de químicos.

Después de llenar el sistema con la solución de cítrico, debe de continuarse la circulación por una hora.

Neutralización

- a) Agregue solución de amoníaco.
- b) Asegure que el valor de pH del agua para enjuague aumente entre 9.5-10.

Pasivación

- b) Después de terminada la neutralización incremente la temperatura de la solución a unos 270°C .

Agregue posteriormente solución de hidracina.

- c) Circule durante dos horas manteniendo la temperatura del sistema a 10°C , en esta forma debe terminarse el problema de pasivación.
- d) Drene la solución de pasivación de la caldera utilizando gas nitrógeno.

PROCEDIMIENTO PARA EL ALMACENADO DEL GENERADOR DE VAPOR

Introducción

Cuando se termina la construcción de un generador de vapor o se pone fuera de servicio, es necesario proteger las superficies internas mediante un almacenamiento adecuado, con objeto de prevenir que éstas sufran corrosión debido a la presencia de oxígeno

Esta corrosión puede dar origen a fallas prematuras que además de representar costos elevados por concepto de reparaciones disminuyen la posibilidad del equipo, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas por concepto de unidades fuera de servicio

El mejor método para proteger contra la corrosión los diferentes componentes metálicos que normalmente se emplean en la construcción de generadores de vapor, es almacenarlos en húmedo con agua desmineralizada con productos químicos específicos y sello con nitrógeno.

Objetivo

Establecer una protección adecuada en las superficies internas del generador de vapor cuando este equipo permanezca fuera de servicio, mediante la aplicación del procedimiento que se describe a continuación

Requisitos Previos

- Haber terminado la prueba hidrostática del generador de vapor.
- Tener los productos químicos necesarios.
- Tener suficiente agua desmineralizada.
- Contar con instalaciones temporales.
- Contar con el Laboratorio Químico debidamente equipado

Instrucciones

- Verificar que esté disponible el sistema de N_2 y que todas las válvulas del generador de vapor estén cerradas, únicamente quedarán abiertas las de los venteos del domo y sobrecalentador durante el llenado, para evitar que se presione el generador de vapor.
- Abrir las válvulas del drenaje del recalentador para desplazar el aire durante el llenado de éste, cerrándolas cuando derrame solución por cada uno de los drenes.
- Preparar una solución con agua desmineralizada con 200 ppm. de Hidrazina y un pH ajustado con amoníaco. Homogenizar la solución recirculándola.
- Introducir la solución a través de las líneas de llenado previstas para almacenamiento, llenar el sobrecalentador hasta que derrame al domo, cerrando los venteos del mismo cuando derrame la solución en cada uno.
- Si no están instaladas válvulas de salida del sobrecalentador y recalentador, deberán tomarse medidas para mantener llenas las líneas con solución
- Llenar el recalentador por los drenes y cerrar éstos cuando derrame solución por los venteos. Llenar las Calderas 3/4 partes del domo, llenar totalmente por el sobrecalentador derramando al domo, cerrarlos permitiendo así desplazar totalmente el aire evitando con esto atrapamientos de aire al desplazarse la solución del domo al sobrecalentador.
- Cuando esté totalmente lleno el generador de vapor, hacer un sello con presión positiva de Nitrógeno de 29 a 49 Kpa, (0.3 a 0.8 kg/cm^2) por las conexiones específicas para nitrógeno, previstas de un manómetro. Verificar que esté lleno todo el sistema y que estén cerradas todas las válvulas del mismo.
- Colocar en las válvulas del sistema, tarjetas de libranza

Recomendaciones

Tomar muestra del agua de la caldera de las purgas de fondo, domo superior, economizador, sobrecalentador y recalentador y efectuar análisis de hidrazina, amoníaco, pH cada 15 días cuando sean períodos de almacenamiento mayores a este tiempo. Es necesario verificar que siempre se tenga una presión positiva de nitrógeno; la cual se comprobará en los manómetros del equipo de nitrógeno, esta verificación se debe practicar diariamente mientras esté el equipo almacenado

Cuando se vaya a poner en servicio el generador de vapor, será necesario drenar la solución preservadora, abriendo los venteos del domo, sobrecalentador o recalentador, así como sus drenes correspondientes, llenando nuevamente el generador de vapor para eliminar el amoníaco presente en el equipo ya que este elemento es agresivo para el condensador.

CONTROL GENERAL DE LAS CONDICIONES QUÍMICAS

El presente capítulo referente al control de las condiciones químicas dentro de las calderas de vapor para aumentar su seguridad durante la operación, ha sido agrupado en la siguiente forma:

Limpieza interna de las calderas,
Calderas fuera de servicio,
Depósitos,
Corrosión,
Agrietamiento y fragilización del acero en calderas,
Contaminación de vapor.

En cada caso se ha intentado establecer en forma simple, concisa y explícita los problemas, las características por las cuales pueden ser reconocidos y los principios por medio de los cuales pueden ser corregidos.

Para salvaguardar vidas y propiedades, se recomienda que la limpieza química de las calderas y el control de todas las condiciones del agua, se establezca y supervise por personal especialmente calificado por entrenamiento y experiencia, en estos campos altamente técnicos. Tal personal puede estar formado por empleados de la compañía propietaria de la caldera, representantes de terceros interesados en el ramo, como por ejemplo: Fabricantes de calderas, compañías que suministren equipos o productos químicos o pueden ser encomendados a compañías consultoras.

LIMPIEZA INTERNA DE LAS CALDERAS.

Limpieza interna de calderas nuevas. Una vez montada una caldera nueva debe estar razonablemente libre de escamas de laminación, productos de corrosión y otras materias extrañas.

Antes de que una caldera nueva sea puesta en servicio, debe limpiarse cuidadosamente a fin de eliminar la grasa y otras materias orgánicas, óxidos, escamas de laminación, películas protectoras aplicadas por el fabricante para evitar corrosión atmosférica, fúndente de soldadura y cualquier otro material inherente a la fabricación y al montaje.

El objetivo a lograr durante la limpieza de una caldera nueva es producir una superficie metálica limpia en todas las partes de la misma que están en contacto con el agua y el vapor durante la operación. Deben eliminarse todos los compuestos solubles en agua, los ácidos grasos, aceites, grasa, escamas de laminación, óxido, pintura y materiales similares; cualquier solución usada deberá ser un buen agente limpiador para este propósito.

Limpieza alcalina. Esta operación se efectúa por medio de la solución detergente alcalina para retirar materiales extraños, tales como aceites y grasa, de la superficie interna de la caldera, economizador y sobrecalentador.

Limpieza ácida. Esta operación se lleva a cabo con una solución ácida inhibida, primordialmente con el propósito de retirar escamas de laminación y productos de corrosión. Debido al control químico requerido y a los riesgos involucrados con el uso inapropiado de ácidos que destruyen metales ferrosos y no ferrosos y producen gases explosivos, este tipo de trabajo debe ser supervisado por personal especialmente calificado, por medio de entrenamiento y experiencia, en este campo altamente técnico.

Limpieza interna de calderas después de ponerlas fuera de servicio. Siempre que una caldera sea puesta fuera de servicio para cualquier propósito, debe limpiarse internamente al ponerla nuevamente en servicio, ya sea que el almacenamiento sea en estado seco o en húmedo. El material suelto, en forma de tierra, basura, escamas de laminación o depósitos, deben eliminarse por medio de lavados u otros medios mecánicos.

Los depósitos, escamas y productos de corrosión que no sean expulsados fácilmente por simple lavado, pueden ser eliminados por limpieza química interna. Siempre es conveniente el análisis químico de los materiales que van a ser eliminados, para determinar el programa de limpieza química y la composición de las soluciones a emplear.

CALDERAS FUERA DE SERVICIO

Cuando una caldera es puesta fuera de servicio, deberá ser enfriada. La caldera deberá ser vaciada y lavada sólo hasta que la temperatura del agua se encuentre abajo del punto de ebullición. Deberá llevarse a cabo una inspección para determinar los trabajos de reparación necesarios y la limpieza química o mecánica que tenga que hacerse. Se tomará entonces una decisión sobre la forma de almacenamiento ya sea en estado seco o en húmedo.

Almacenamiento en estado seco. Este procedimiento es preferible para calderas que están fuera de servicio por periodos largos, o en lugares donde puedan presentarse temperaturas de congelación; este método es preferible generalmente para recalentadores.

- a) La caldera ya limpia deberá secarse perfectamente ya que cualquier humedad presente en la superficie metálica causaría corrosión en un periodo largo de almacenamiento. Deberán tomarse precauciones para evitar la entrada de humedad en cualquier forma, a través de las líneas de vapor, línea de alimentación o aire.
- b) Para este propósito, se colocan en el interior de los domos, charolas con materiales absorbentes de la humedad, tales como cal viva en una proporción de 1 Kg, o gel de sílice, en una proporción de 5 Kg. por cada 4m³ de capacidad. Después se cierran los registros de hombre y se sellan perfectamente las conexiones de la caldera.
La efectividad de los materiales para estos propósitos y la necesidad de renovarlos, se podrá determinar por medio de inspecciones regulares del interior de la caldera. Otra alternativa, es circular aire seco a través de la misma.

Almacenamiento en estado húmedo. Se prefiere este procedimiento cuando las calderas van a estar fuera de servicio por un periodo corto o cuando sea probable que vayan a necesitarse en servicio repentinamente. Este procedimiento no debe ser usado para recalentadores ni tampoco para calderas instaladas en lugares donde puedan ocurrir temperaturas de congelación.

- a) La caldera ya limpia y vacía, deberá cerrarse y llenarse hasta el tope, dejando fluir el agua a través del sobrecalentador, usando condensado o agua de alimentación, los cuales deben ser tratados químicamente para disminuir a un mínimo la corrosión durante el almacenamiento; por ejemplo: Pueden emplearse concentraciones prescritas de sosa cáustica y de un absorbente de oxígeno tal como el sulfito de sodio o bien hidrazina. Pueden usarse para este propósito concentraciones aproximadas de 450 ppm de sosa cáustica y 200 ppm de sulfito de sodio o hidrazina. Después de cerrar el derrame del sobrecalentador, el agua dentro de la caldera se mantendrá a una presión mayor que la atmosférica durante el periodo de almacenamiento.

DEPÓSITOS.

Los materiales sólidos encontrados en las superficies internas de la caldera, después de haber estado ésta en operación, pueden ser tanto incrustaciones y lodos como productos de corrosión. Puede haber aceite en las superficies de la caldera ya sea con depósitos de materiales sólidos o sin ellos.

Incrustación. La incrustación es un depósito formado sobre las superficies y por lo general es cristalina y densa, frecuentemente su estructura es laminar, y ocasionalmente columnar. La incrustación resulta del uso de aguas naturales con la ausencia de constituyentes que favorezcan la formación de lodos.

Bajo ciertas condiciones las sustancias que normalmente forman lodos, pueden depositarse en forma densa y adherente.

La incrustación es objetable, debido a que puede dar como resultado sobrecalentamiento de las superficies del acero, en las cuales se forme, con el consecuente abolsamiento o falla.

Para evitar la incrustación, se requiere generalmente la administración de un tratamiento químico apropiado al agua de alimentación antes y/o después de entrar a la caldera.

El tratamiento químico seleccionado, ya sea interno o externo con respecto a la caldera, deberá ser controlado por medio de análisis periódicos de muestras de agua, como sea necesario, para mantener las superficies de evaporación libres de incrustación.

El tipo y frecuencia de tales pruebas o análisis de control, serán en función del tipo de tratamiento, del carácter específico de agua y de las características físicas del medio ambiente en cada planta en particular. No se puede indicar límites generales de alcalinidad, sólidos disueltos, fosfatos, sulfatos u otros constituyentes del agua para aplicarse universalmente.

La eliminación de la incrustación, por métodos químicos o mecánicos, se debe llevar a cabo con precaución para reducir daños a la caldera y al personal.

Lodos. El lodo es un depósito de sedimentación formado por el agua comprende depósitos suaves y generalmente no adherentes, formados por precipitados del agua de la caldera, pero puede incluir los sólidos suspendidos que lleva el agua. Por lo general el lodo no tiene la suficiente cohesión para mantener su forma física cuando se elimina por medios mecánicos de las superficies en las que se deposita, pero puede aglomerarse antes de su eliminación y volverse duro y adherente. La acumulación del lodo en una

liberación de calor alta, puede causar daños al metal por sobrecalentamiento y/o por corrosión.

Puede mantenerse el lodo en un estado favorable no adherente por medio de un tratamiento adecuado del agua. Su acumulación debe regularse por medio del control de las purgas que mejor se apegue a las condiciones de la planta en particular.

Cuando una caldera se pone fuera de servicio se aconseja mantener el agua en su interior hasta que se haya enfriado, con objeto de dejar el lodo en la condición más fácil para eliminarlo. Entonces es aconsejable eliminar tanto el lodo suelto como el adherido por medio de lavados, tan pronto como sea posible.

El aceite en el agua de la caldera es sumamente indeseable ya que puede depositarse particularmente junto con el lodo e impedir la transmisión de calor a un punto tal que puede resultar dañino. El aceite puede, asimismo causar contaminación excesiva del vapor.

Es muy importante evitar la contaminación de aceite en el agua de alimentación. Cuando sea necesario eliminar aceite o depósitos combinados en una caldera abierta, deberán usarse uno o varios agentes limpiadores adecuados.

CORROSIÓN.

La corrosión puede ocurrir en una caldera en operación, cuando está fuera de servicio y en almacenamiento en estado seco o en húmedo; deberán tomarse las precauciones apropiadas para disminuir a un mínimo la corrosión.

Corrosión dentro de la caldera y sobrecalentador. Sin haber incrustación, la vida probablemente del metal del domo, de los tubos de la caldera y del sobrecalentador, depende de la profundidad de picaduras localizadas, del adelgazamiento de la pared de la envolvente o de los tubos por corrosión general.

Las picaduras de un área relativamente grande, y no cubiertas por tubérculos pueden ser producidas por ácidos minerales libres en el agua de la caldera. Cuando el acero se encuentra cubierto parcialmente por escamas de laminación o por incrustación, pueden ocurrir picaduras en el área del metal expuestos al agua.

Las picaduras del acero en contacto con agua neutra o alcalina forma un tubérculo de óxido de fierro rojo o negro sobre cada pequeña área donde la corrosión está produciéndose.

En general, la reacción de corrosión es acelerada por un aumento en: La concentración de oxígeno disuelto, la temperatura, la concentración de las sales disueltas y la conductividad eléctrica resultante y concentración de ion hidrógeno (correspondiente a un descenso del valor del pH).

Una concentración excesiva y localizada de los constituyentes alcalinos del agua de la caldera, en contacto con el acero particularmente en regiones de alta liberación de calor o de mala circulación, puede producir ataque químico en la forma de picadura irregular o un ranurado regular en la pared del tubo. Este tipo de ataque se observa más frecuentemente en tubos horizontales o ligeramente inclinados, pero también puede desarrollarse en tubos verticales. Una corrosión similar puede producirse, aunque menos rápidamente por el agua de carácter neutro. Los productos finales de este ataque corrosivo, son óxidos magnéticos de fierro algunas veces adherentes, e hidrógeno.

El ataque general en la superficie interna de un tubo de sobrecalentador, con formación de una película continua de óxido de fierro negro magnético y formación de gas hidrógeno, es por lo general el resultado de la reacción del vapor sobre el metal calentado a una temperatura normalmente alta. Esta condición puede ser causada por una aportación alta de calor o por un flujo inadecuado de vapor, como por ejemplo, cuando debido a un severo arrastre, los depósitos de sales bloquean parcialmente o totalmente un tubo.

El ataque local en un tubo de sobrecalentador puede ser causado por arrastres de gotas de agua de la caldera concentrándose en la superficie metálica, por corrosión durante el almacenamiento en estado seco o en húmedo.

En las superficies donde los depósitos han causado un sobrecalentamiento severo, resulta algunas veces corrosión por la reacción química de los constituyentes de los depósitos con el metal.

El abolsamiento y ruptura de tubos de caldera y de sobrecalentador, no son precedidos necesariamente por una corrosión apreciable sino que pueden resultar de un simple sobrecalentamiento de las paredes del metal.

Dstrucción de partes metálicas antes y después de la caldera. Los dos factores principales que contribuyen a la destrucción del metal en el ciclo de vapor

y agua, antes y después de la caldera, son: Ataque mecánico o erosión y ataque químico o corrosión.

La cavitación, una forma agravada de erosión, acompañada o no por corrosión contribuye a la pérdida de metal en los impulsores y envolventes de bombas centrifugas y en los extremos de entrada de los tubos de cambiadores de calor, en las aspas de las turbinas y en las hileras superiores de los tubos del condensador, particularmente cuando el vapor va acompañado por líquido finamente dividido o de partículas sólidas, erosiona las partes metálicas y los productos pueden llegar hasta la caldera. Esta erosión puede estar acompañada de corrosión.

Los principales factores químicos que producen corrosión en la tubería y aparatos antes y después de la caldera son gases disueltos y ácidos minerales libres. Las altas concentraciones de álcalis, pueden también contribuir a la corrosión de ciertos aparatos en los que se usan aleaciones no ferrosas. Por lo general las picaduras o ataques locales del metal, se encuentran cubiertos por los productos de oxidación de las reacciones de corrosión, en forma de tubérculos. El ataque del bióxido de carbono a las líneas de vapor condensado, trampas y drenajes, se nota por ranurado del metal abajo de la línea de agua y por la ausencia de los productos de corrosión en las áreas corroídas. El ataque de ácidos minerales libres, incluyendo ácido sulfhídrico, puede notarse por la aparición de zonas relativamente grandes con las superficies gastadas o picaduras libres de productos de corrosión. Las altas concentraciones de álcalis en el agua pueden afectar a los materiales no ferrosos y a las aleaciones, particularmente las de las bombas de alimentación a la caldera. Se recomienda que la identificación del tipo de corrosión, se lleve a cabo por personal calificado, antes de tomar los pasos necesarios para su corrección.

El amoníaco producido en la caldera, no reacciona con los metales ferrosos dentro de los valores de temperatura y presión alcanzados en el ciclo de vapor. El amoníaco disuelto en el vapor condensado puede atacar metales no ferrosos, particularmente en presencia de oxígeno. El hidrógeno, la presencia del cual en instalaciones de alta presión y temperatura es más notoria, no contribuye a la corrosión de los metales, siendo más bien el producto gaseoso de la reacción de corrosión en una superficie transmisora de calor puede producir sin embargo daño intergranular en el acero calentado.

Inspecciones y pruebas. Cuando las paradas de una caldera lo permiten, deben hacerse inspecciones muy completas en todas sus partes internas, buscando la presencia de corrosión en cualquier forma y para la recolección de depósitos resultantes, para un examen posterior de los productos de corrosión. Cuando se encuentra un caso de

corrosión no usual y extenso, deben obtenerse los servicios de personal calificado para determinar las causas y sugerir cambios en el tratamiento del agua y en la operación, para remediarlo. Esta sugerencia puede ser aplicada también a la inspección del equipo antes y después de la caldera. El estudio de Laboratorio de los depósitos, puede prestar una valiosa información en la corrosión.

Cuando los tubos de una caldera requieren reemplazarse por alguna razón los tubos desechados ofrecen una excelente oportunidad para un examen minucioso de los efectos de la corrosión. Debe establecerse un registro de los resultados de la inspección, para futura referencia, como parte del procedimiento de inspección.

Cuando el programa regular en una planta, incluye pruebas de control para tratamiento, es deseable incluir las de oxígeno disuelto, pH, hidrógeno y también bióxido de carbono, cuando se encuentran altas concentraciones en operación normal. En general, estas pruebas debieran hacerse en el agua de alimentación entrando a la caldera, en el vapor en uno o más puntos del ciclo, y en otros puntos que puedan ser sugeridos por un estudio cuidadoso del diseño de la planta o por las recomendaciones de personal calificado. Las pruebas deberán hacerse tan pronto como sea posible en la operación de un sistema nuevo, y después a intervalos frecuentes, para detectar las variaciones en las condiciones, que puedan influenciar las reacciones de la corrosión y para suministrar una base para la pronta y adecuada corrección de las condiciones.

Corrección de las condiciones para evitar corrosión. Los daños a veces atribuidos a la corrosión, pueden ser realmente influenciados por la erosión. Se requiere el conocimiento de expertos para distinguir las causa.

La corrosión puede ser causada por gases disueltos en el agua de alimentación. Es conveniente excluir dichos gases, especialmente el oxígeno, por medio de equipos mecánicos adecuados de deaeración y depuración final, si fuera necesario, en el sistema de agua de alimentación y en la caldera con substancias químicas eliminadoras. El producto más comúnmente usado para eliminar oxígeno, es el sulfito de sodio (o la hidrazina) que puede ser inyectado de preferencia en el agua de alimentación en un punto conveniente entre el calentador y la bomba de alimentación.

La dosificación puede regularse por medio de análisis diarios, para determinar el sulfito (o hidrazina) residual en las muestras extraídas de la caldera bajo condiciones de operación y protegidas del contacto con el aire hasta ser analizadas.

La eliminación práctica del bióxido de carbono y del amoniaco, es un problema que debe ser atendido por personal calificado, mediante entrenamiento y experiencia,

considerando los factores de cada caso individual. El contenido mínimo deseable de estas sustancias depende de la calidad del agua disponible para alimentación a la caldera, tiempo de tratamiento químico y del diseño y operación de la planta. La concentración del bióxido de carbono en el condensado debe ser mantenida al nivel práctico mínimo. La eliminación del amoníaco requiere equipo especial.

AGRIETAMIENTO Y FRAGILIZACIÓN DEL ACERO EN CALDERAS.

El desarrollo de grietas en el acero de los tubos y domos de calderas, es evidencia de condición peligrosa cuya causa y corrección deben ser determinadas inmediatamente con una investigación completa hecha por una autoridad competente.

Una grieta puede desarrollarse debido a una gran variedad de causa: Por lo general es el resultado de esfuerzos o combinación de esfuerzos y corrosión, y se caracteriza por ser transcristalina (a través de los granos) o intercristalina (entre los granos adyacentes).

Las grietas transcristalinas se deben principalmente a esfuerzos, y se atribuyen a una o más de las siguientes causa:

- a) El uso de acero de calidad inadecuada o el desarrollo de esfuerzos internos excesivos por tratamiento térmico incorrecto o por trabajo en frío durante la fabricación de la caldera.
- b) Practicas inadecuadas, tales como el sobrerrolado de tubos o falta de relevo de esfuerzos de las juntas soldadas durante el montaje o reparación de una caldera.
- c) Esfuerzos internos originados por cambios de temperatura repetidos, enfriamientos súbitos o corrosión durante la operación de la caldera.
- d) Esfuerzos producidos por expansión y contracción durante ciclos de calentamiento y enfriamiento demasiados rápidos de la caldera.

El agrietamiento transcristalino se encuentra en fallas de tubos debidas a metal laminado o defectuoso, en toberas de los domos o juntas sujetas a fluctuaciones de esfuerzos y temperaturas, en asientos de tubos sobrecalentados, en fallas de metal causadas por vibración, en juntas soldadas que no han sido relevadas de esfuerzos apropiadamente y en superficies de metal agrietadas sujetas a enfriamiento y sobrecalentamiento alternados.

El agrietamiento intercrystalino, más comúnmente conocido como fragilización cáustica, ocurre usualmente abajo del nivel de agua y en juntas, costuras o grietas en las cuales el agua de la caldera puede fugarse y producir altas concentraciones. Se requieren según opinión general cuatro condiciones simultáneas para que se desarrolle una falla de esta especie:

- a) El agua de la caldera debe contener sustancias, particularmente hidróxidos, capaces de producir falla intergranular, cuando concentradas se encuentran en contacto con acero sujeto a esfuerzos.
- b) Debe haber una junta o intersticio por el cual, o a través del cual, el agua de la caldera pueda fugarse.
- c) El agua de la caldera debe concentrarse dentro de la junta o intersticio.
- d) El acero debe estar sobre esforzado localmente donde está expuesto a la concentración de los componentes químicos.

Tales condiciones pueden desarrollarse particularmente en juntas de domos remachados y en asientos de tubos rolados, resultando la fragilización del acero y la falla final por agrietamiento. Los operadores deberán actuar con suspicacia ante cualquier fuga en las cubre juntas de los domos remachados, o en los asientos de tubos de las calderas que no puedan ser fácilmente selladas por un cuidadoso recalado o rerrolado respectivamente.

La investigación y la experiencia han indicado que manteniendo en el agua de la caldera ciertas relaciones de sales disueltas o ciertas sustancias llamadas inhibidores, se puede controlar este tipo de falla. Se han sugerido y usado los métodos siguientes para el control de la fragilización bajo gran variedad de condiciones de operación:

- a) Mantener ciertas concentraciones o relaciones de concentraciones de sustancias específicas en el agua de la caldera.
- b) El uso de un tratamiento de agua que no produzca hidróxido libre en el agua de la caldera. Estos métodos deberán ser establecidos y supervisados por personal calificado.

No existe un control químico fijo apropiado que pueda ser prescrito para toda la gama de condiciones de operación que pueden encontrarse en las calderas. Se han desarrollado varios sistemas de control químico, incluyendo el mantener ciertas

cantidades de sulfatos, nitratos o de taninos o ligninos, en relación con el contenido alcalino del agua de la caldera, o el control de la relación de alcalinidad y fosfatos en el agua de la caldera, de tal forma que no exista presencia de sosa cáustica libre. Bajo cualquier condición dada de operación de una caldera de vapor se puede aplicar uno o más de los siguientes sistemas:

- a) El sistema que recomienda el mantener ciertas relaciones de sulfato de sodio a alcalinidad total, expresadas en términos de carbonato de sodio; la atención tenida a estas relaciones, se ha visto remunerada con una considerable reducción en el número de casos de agrietamiento en juntas remachadas, de calderas estacionarias durante los años subsecuentes.
- b) La experiencia práctica desde 1939 ha demostrado que los materiales orgánicos de la clase de taninos y ligninos, son efectivos en la prevención de agrietamientos en juntas remachadas de calderas locomóviles y estacionarias.
- c) La experiencia práctica desde 1941, ha indicado al nitrato como particularmente efectivo en la prevención de agrietamiento en juntas remachadas de calderas tanto estacionarias como locomóviles. El mantener concentraciones relativamente bajas de este inhibidor, que varían hasta 0.4 partes de nitrato de sodio por cada parte de sosa cáustica en el agua de la caldera, se ha visto que actúa en forma adecuada.
- d) El fosfato propiamente dicho, no parece actuar como inhibidor, sin embargo, es posible mantener la alcalinidad en el agua de la caldera por medio de fosfatos hasta el nivel correspondiente a la presencia de fosfato trisódico sin haber sosa cáustica libre. Este ha demostrado por la experiencia práctica en calderas estacionarias, ser un método efectivo para prevenir el agrietamiento en juntas remachadas.

La tendencia fragilizante del agua de calderas con o sin tratamiento inhibidor, puede ser determinada con un aparato mecánico que produzca las condiciones simultáneas necesarias de fuga, concentración y esfuerzo.

CONTAMINACIÓN DEL VAPOR.

Todas las impurezas sólidas y líquidas llevadas, fuera de la caldera por el vapor generado, son consideradas como contaminaciones y comúnmente conocidas como "arrastre". La impureza líquida es el agua de la caldera no evaporada y la impureza

sólida comprende los sólidos suspendidos y disueltos que ésta agua lleva y las sustancias normalmente sólidas transportadas a su fase de vapor.

La gestión de refacciones es una tarea compleja que comprende muchas funciones, no un trabajo sencillo como a veces se piensa en donde deben considerarse todas las funciones. Para lograr un mejoramiento efectivo en un programa de gestión de refacciones, se requiere lo siguiente:

- Que todas las funciones estén incluidas en el programa.
- Que las funciones individuales se realicen adecuadamente.
- Que la gestión de refacciones ajuste en un programa completo muy bien coordinado.

En las siguientes notas se proporcionan guías generales que pueden emplearse para juzgar si un programa completo y sus partes individuales son adecuadas y llevar a cabo un análisis profundo, aunque no incluye problemas particulares ni se sugieren soluciones específicas.

La realización de un análisis profundo satisfactorio, requiere de las siguientes consideraciones:

- 1) se deben de tomar en cuenta todos los niveles de la organización y funcionales involucrados en el programa de gestión de refacciones, así como apearse lo más posible a las prácticas normales en caso de que estas no tengan que ser cambiadas.
- 2) Para hacer cambios efectivos, se deberán considerar todas las áreas funcionales por ejemplo:
 - La aplicación de criterios y métodos correctos para los niveles de existencia, no sirven de mucho si no se toman en cuenta los tiempos de compras.
 - No se deben cambiar los procedimientos de compras hasta que no se comprenda plenamente el impacto sobre los niveles de existencias y las decisiones de selección.
 - No se debe cambiar a un sistema computarizado hasta que no se hayan identificado completamente los problemas que la computadora debe resolver.

La identificación de los cambios necesarios es diferente a la justificación de los gastos que ello implique.

La gestión de refacciones es un conjunto de filosofías, sistemas, procedimientos y prácticas por medio de las cuales se planea y controla el ciclo de vida de varias de las refacciones, que consta de las siguientes partes:

- A. Selección.
- B. Asignación de niveles de existencia (stock).
- C. Adquisición.
- D. Control de calidad.
- E. Recibo y almacenamiento.
- F. Control durante el almacenamiento.
- G. Obtención para su uso.
- H. Reposición de inventarios.
- I. Reevaluación periódica.

A continuación se hará una breve discusión de cada una de las partes del ciclo de refacciones anteriores.

A. Selección

La selección de refacciones se inicia realizando una evaluación de todos los equipos para determinar las reparaciones y refacciones que se requieren, empleando un criterio positivo para maximizar la disponibilidad de la planta con el mínimo costo, criticidad y probabilidad de uso: normalmente la fecha óptima de requisición de refacciones varía desde la fecha de adquisición del equipo hasta el momento de la falla.

La selección de refacciones requiere habilidad para resolver diferencias entre los planos de equipos, especificaciones y equipo realmente suministrado. La responsabilidad para la decisión de sostener el inventario (stock) puede ser del supervisor de mantenimiento, del supervisor de almacenes, del staff de ingeniería, etc..

B. Niveles de Existencias (stock)

A pesar de que existen numerosos textos y programas matemáticos para definir el nivel de la existencia, es más conveniente el análisis de los factores siguientes:

- Demanda de las refacciones.
- Costos de órdenes y trámites.
- Criticidad de las partes o equipos.

- Compras frecuentes de refacciones cuando es más económico su sostenimiento en almacén.
- Sostenimiento muy largo, cuando es más conveniente comprarlos más frecuentemente.
- Pago muy pequeño o muy grande por protección contra (stock).

C. Adquisiciones

Siempre que sea posible, se debe buscar la fuente de suministro más adecuada, que incluye lo siguiente:

- Vendedor
- Fabricante de equipo
- Distribuidor local
- Fabricante de partes

Las compras pueden hacerse de varias formas, entre las que se incluyen las siguientes:

- Concurso
- Orden por teléfono
- Orden en blanco
- Repetición de pedido

Cada una de estas formas tiene sus ventajas y desventajas que es necesario conocer para poderlas aplicar correctamente; lo anterior incluye a los procedimientos, políticas, reglas, etc. establecidas tanto internamente de la compañía, como las establecidas por las instrucciones reguladoras como , SHCP, etc..

D. Control de Calidad

El objetivo de control de calidad de las refacciones es el de proporcionar alguna medida de confianza de que las partes adquiridas se comportarán confiablemente en la función intentada: el nivel apropiado de control de calidad en la gestión de refacciones es un problema subjetivo por lo que no puede darse una respuesta específica, variando desde instrucciones simples para recibirla hasta medidas más extensivas como inspecciones en talleres y calificación de vendedores.

La efectividad de las medidas de control de calidad aplicadas son también algo subjetivas, aunque una incidencia alta de refacciones que no se ajustan con el equipo o daños en el embarque indican un control de calidad inadecuado.

La responsabilidad del control de calidad descansa en las personas que determinan las partes necesarias y las inspecciones al recibirlas; sin embargo debe haber un responsable de monitorar la efectividad de estos esfuerzos individuales.

E. Recibo y Almacenamiento

Durante el recibo se presenta la oportunidad de efectuar una inspección de lo siguiente:

- Daños en el transporte
- Cambios de algún número de parte o sustitución hecha por el vendedor: esta es la única oportunidad de capturar esta información necesaria para actualizar los inventarios, purgando los registros y evitar números o descripciones de partes obsoletas que causan confusión cuando se trata de localizar la información correcta de partes para requisitarlas.

Con relación al sistema para la localización del almacenamiento, se debe considerar lo siguiente:

- Un esquema efectivo para encontrar las partes en el almacén: si este esquema no se tiene, se consumirá un tiempo considerable en encontrar las partes cuando se necesiten.
- Se debe tener suficiente espacio para almacenar las partes de una forma ordenada.
- La localización debe hacerse considerando el punto de vista de la productividad de los trabajadores.

Ocasionalmente una mala utilización del espacio puede parecer que no se tiene espacio suficiente en el almacén, siendo muy común claros superiores grandes que almacenan aire, que puede resolverse mediante la construcción de un mezzanine o gabinetes modulares.

F. Control Durante el Almacenamiento

Normalmente todas las partes deben ser debidamente documentadas para ser extraídas del almacén, aún tratándose de partes que el medio ambiente no les afecta y que pueden almacenarse en espacios abiertos.

Un programa de gestión de refacciones debe considerar el mantenimiento durante el almacenamiento como por ejemplo, el giro periódico de motores, rotores de bombas, etc., además de tomar en cuenta la vida de la cubierta como muchos

Con frecuencia el sistema de numeración de almacén y los listados numéricos de inventario que sirven muy bien al personal de almacenes, casi no son de utilidad al personal de mantenimiento que se apoyan en instructivos, manuales y diagramas de fabricantes para los números de partes y descripciones, lo que ocasiona la utilización de mucho tiempo para determinar si se encuentran las refacciones, compras innecesarias y muchas existencias (stock) en extremos. Con el objeto de minimizar los problemas anteriores, los listados de inventario deberán disponerse organizando las refacciones por equipos a los cuales apoyen, proporcionando además los números de partes o de referencias y descripciones consistentes con los instructivos, manuales o diagramas.

Las prácticas de órdenes de partes preensamblados y la de reservación de refacciones, son ayudas valiosas para evitar que la emisión de requisiciones y la de obtención partes estén en la ruta crítica de una reparación, ya que ciertamente no siempre es posible predecir las refacciones que se requerirán para una reparación o bien planear llevar a cabo muchas y complejas.

La operación de sacar las refacciones del almacén debe ser autorizada y documentada por algún tipo de forma de solicitud para lo siguiente:

- Evitar que extracciones innecesarias ocasionen falta de existencias inesperadas.
- Permitir la identificación de refacciones usadas para reparaciones específicas en tal forma que sea útil para el historial del equipo.
- Asegurar que las partes que no se usen, se regresen al almacén.

H. Reposición de Inventarios

Con objeto de evitar quedarse sin existencias con los altos costos de penalizaciones que pueden ocurrir, se emplean puntos de órdenes y existencias de seguridad; a pesar de que se establezcan estos puntos de órdenes o existencias de seguridad, serán de poca utilidad si no se produce automáticamente una orden de compra para reponer el inventario. Las órdenes de compra así producidas no deben requerir revisión y aprobación extensiva puesto que la decisión de la existencia de la parte ya fué revisada y aprobada primeramente al fijar los puntos de órdenes y las existencias de seguridad.

Para que el proceso de reposición funcione efectivamente, es necesario que las refacciones reservadas se consideren como "usadas" o "entregadas" para propósitos de control de inventarios, a fin de evitar el respectivo vaciado de existencias cuando

se sacan todas las reservas, hecho que normalmente ocurre durante la salida de la unidad.

I. Revaluación Periódica

Para que un programa de gestión de refacciones sea efectivo, requiere que se consideren ciertos factores que afectan el ajuste de los niveles de existencias, la decisión de reemplazar partes mal diseñadas y la eliminación de partes innecesarias; estos factores son principalmente los siguientes:

- Edad de la planta.
- Técnicas de mejoras de mantenimiento.
- Cambios en los tiempos de entrega.
- Cambios en el estado del arte de los equipos.
- Régimen de uso.
- Costo de la refacción.

Por ejemplo, el uso frecuente de refacciones sobre un equipo puede señalar la necesidad de sustituirlo por uno de diseño más confiable; también los equipos discontinuados y los cambios de modelos pueden convertir las refacciones en obsoletas.

Mecanización

La utilización de computadoras en un programa de gestión de refacciones puede ser una ayuda muy valiosa en algunas funciones principales como por ejemplo la actualización de registros de inventarios para realizar reevaluaciones periódicas que reflejen:

- Emisiones o retiros
- Devoluciones
- Órdenes de compra o pedido
- Recepciones

Adicionalmente, también puede ser útil incluir en el listado de partes además del número de inventario, un listado de partes por equipos de la planta.

Por otra parte, los principales problemas encontrados en un sistema de gestión de refacciones computarizado incluyen los siguientes, que deben tratar de evitarse:

- Poca frecuencia en la generación de reportes.
- Retrasos en la revisión de registros de evaluación.
- Formatos de reportes inapropiados.

Implementación

Debido a la estrecha relación con la disponibilidad de una caldera, la gestión de mantenimiento, es de las principales funciones de explotación. La consecuencia elemental con que se basan las actividades de mantenimiento es que:

"Los sistemas, estructuras, equipos, componentes y refacciones, deben estar perfectamente identificados y controlados, es decir, deben estar inventariados y determinadas todas las acciones a realizar en cada uno de ellos".

La primera fase de identificar todos los componentes de una caldera puede iniciarse por el análisis de los sistemas que la constituyen y que esencialmente son los siguientes:

- Sistema agua - vapor
- Sistema aire - gases
- Sistema de quemadores y piloto encendedores
- Sistema de purgas y ventcos
- Sistema de sopladores de hollin
- Sistema de aislamiento, forros y refractarios
- Sistema de vapor auxiliar
- Sistema de manejo de cenizas
- Sistema de almacenamiento con nitrógeno
- Sistema de descarga y transferencia de combustible
- Sistema de aceite combustóleo a quemadores
- Sistema de gas combustible a quemadores
- Sistema de aceite diesel a quemadores
- Sistema de suministro y almacenamiento de carbón



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

MANTENIMIENTO A CALDERAS

**NORMA OFICIAL MEXICANA
NOM - 085 - ECOL - 1994**

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DE 1998**

Corrosión Lado Fuego

Los constituyentes del combustible y la temperatura del metal son factores importantes que promueven la corrosión externa de la tubería, los principales mecanismos de falla del lado fuego son:

- 1) Corrosión a baja temperatura
- 2) Corrosión a alta temperatura

Corrosión a Baja Temperatura

a) Causas probables

- Alto contenido de SO_3 en los gases de combustión.
- Operar con temperaturas de metales abajo del punto de rocío ácido.
- Operar con temperatura de gases inferiores al punto de rocío ácido.

b) Apariencia

Este tipo de falla produce un adelgazamiento en el espesor de la pared, provocando rupturas dúctiles, la superficie externa de los componentes atacados presentan depósitos porosos e irregulares y la falla se presenta en forma aproximadamente circular.

c) Localización

Generalmente se presentan en economizadores, ductos de salida de gases de combustión, precalentadores de aire, chimeneas.



Corrosión a Alta Temperatura

a) Causas probables

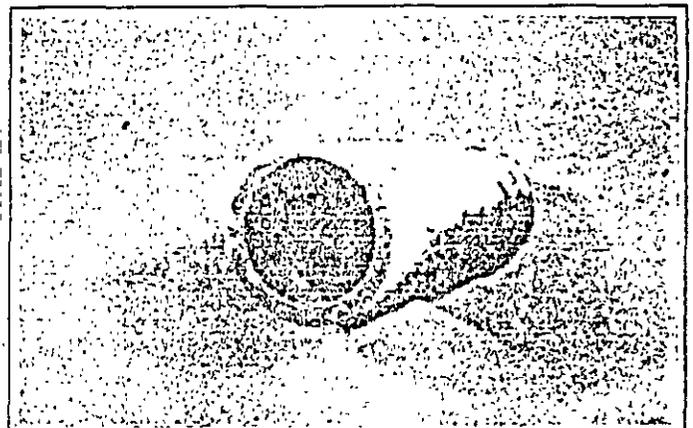
- Combustibles con alto contenido de vanadio, azufre y sodio.
- Alta temperatura de metal en la tubería.

b) Apariencia

La corrosión a alta temperatura produce adelgazamiento en la pared del tubo provocando la ruptura del tubo por esfuerzos, las fallas se presentan generalmente a los 30° y 45° de la dirección del flujo de gases.

c) Localización

Este mecanismo principalmente se localiza en los componentes situados en la zona de radiación.



NORMA OFICIAL MEXICANA
NOM-085-ECOL-1994

Esta norma establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales (PST), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO2), así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión y será de observancia obligatoria en fuentes fijas que usan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones; se exceptúan los equipos domésticos de calentamiento de agua, calefacción, y las estufas utilizados en casas habitación, escuelas, hospitales, y centros recreativos, en las industrias cuando estos equipos sean utilizados en las áreas de servicios al personal, sin embargo, aplicará para el caso de industrias comercios y servicios cuando los equipos en lo individual o la suma de varios rebasen los 10 C.C. de capacidad nominal.

DEFINICIONES

Calentamiento indirecto:

La transferencia de calor por gases de combustión que no entran en contacto directo con los materiales del proceso.

Certificado de emisión.

El documento expedido por SEDESOL que acredita la cantidad de contaminantes a la atmósfera que

puede emitir una fuente fija en un año de acuerdo a su capacidad nominal y al nivel regional de emisiones.

Densidad de humo.

La concentración de partículas sólidas o líquidas transportadas por la corriente de gases producto de una combustión incompleta.

Equipo de combustión existente.

El instalado y/o proyectado y aprobado para su instalación por la autoridad competente antes de la publicación de la presente norma.

Equipo de combustión nuevo.

El instalado por primera vez, por sustitución de un equipo existente, o aprobado para su instalación por la autoridad competente, en fecha posterior a la publicación de la presente norma.

Reparación o modificación mayor.

La que involucra una inversión mayor al 50% del costo de reposición de un equipo nuevo de igual capacidad.

Medición puntual.

La que se realiza en un tiempo no mayor a 5 minutos y cuando el análisis se efectúa al mismo tiempo o

Corrosión Localizada ("Pitting")

a) Causas probables

- El "Pitting" en la superficie interna de la tubería generalmente se debe a la operación con niveles altos de oxígeno en el agua.
- En la superficie externa a depósitos producto de la combustión expuestas a la atmósfera en paros.

b) Apariencia

Esta corrosión produce socavaciones en el material, generalmente con depósitos rojos por la formación de hermatite (Fe_2O_3)

c) Localización

Se localiza frecuentemente en tuberías horizontales ya sea de economizadores, recalentadores y sobrecalentadores.



CORROSION LOCALIZADA POR EL INTERIOR DE TUBERIA.

Corrosión Lado Agua

Este mecanismo es promovido fundamentalmente por el tratamiento químico del agua del ciclo. La resistencia de los tubos a la corrosión depende fundamentalmente del nivel de pH del agua y de la cantidad de contaminantes. Por lo anterior el control de tratamiento de agua deberá de mantenerse moderadamente alcalina para proteger la capa de magnetita formada.

La corrosión del lado agua puede subdividirse en los siguientes mecanismos de falla: 1) Corrosión caústica, 2) Daño por hidrógeno, 3) Corrosión localizada "Pitting" 4) Fractura por corrosión bajo esfuerzo.

Corrosión Caústica

a) Causas probables

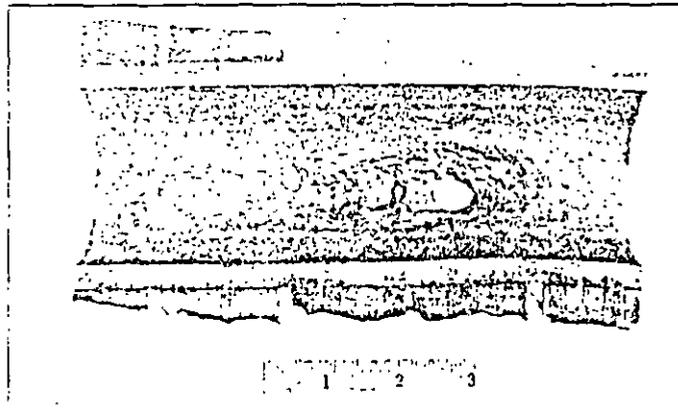
- Concentración alta de hidróxidos de sodio.
- Depósitos en zonas de alto flujo térmico.
- Arrastre de productos de corrosión del sistema precaldera.

b) Apariencia típica

Antes de la falla presenta la forma de "Ampulas" en las zonas donde los productos de corrosión se han depositado y por lo consiguiente se ha adelgazado la pared del tubo, después de la falla presenta aberturas pequeñas de bordes delgados.

c) Localización

Este mecanismo de falla se presenta en tuberías refrigeradas por agua, principalmente en soldaduras que usan anillo de respaldo, curvas, en tuberías horizontales y donde hay incidencia de flama o un alto flujo térmico (Zona de quemadores).



ATAQUE POR CORROSION CAUSTICA.

TABLA No.1

Combinacion de combustibles	Limite de referencia
Gas/Líquido	Líquidos
Gas/Sólido	Sólidos
Líquido/Sólido	Líquidos
Gas/Líquido/Sólido	Líquidos

TABLA No.2

REGION	EMISION DE SO ₂ (KG/105 kcal)
Zona Metroplitana de la Ciudad de México	0.36
Zonzs Críticas	1.44

TABLA No.3

COMBUSTIBLE	Factor de emisión kg de SO ₂ /106 kcal
Combustóleo con 1% en peso de azufre	2.04
Combustóleo con 2% en peso de azufre	4.08
Combustóleo con 4% en peso de azufre	8.16
Diesel con 0.5% en peso de azufre	0.91
Gas Natural	"0" (cero)

Sobrecalentamiento Prolongado

a) Causas probables

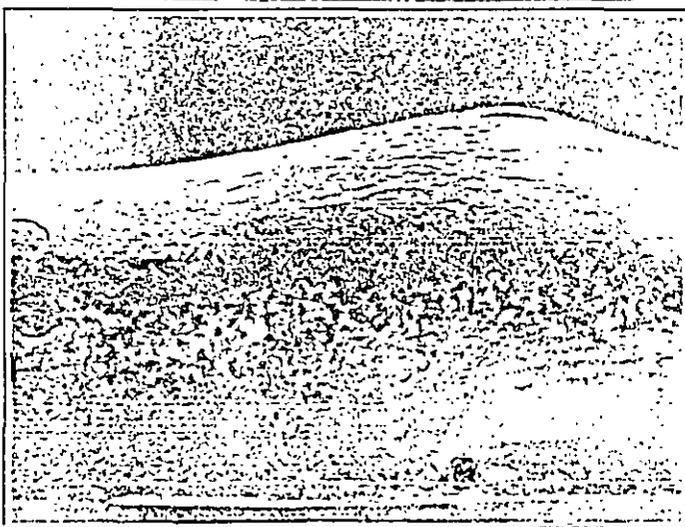
- Restricción en el flujo del refrigerante.
- Reducción en la capacidad de transferencia de calor.
- Bloqueo del paso de los gases de combustión.
- Incremento en el esfuerzo debido al adelgazamiento de la pared del tubo.
- Inadecuada selección del material.

b) Apariencia típica

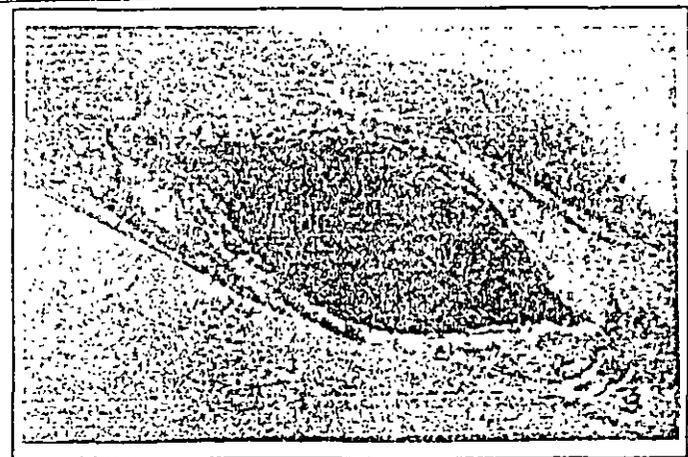
Esta falla produce una fractura longitudinal cuya extensión varía en función de su severidad, una pequeña falla formará una pequeña ampolla como se puede ver en la figura 3, una falla mayor formará una abertura, semejante a boca de pescado, esta presentará bordes gruesos.

c) Localización

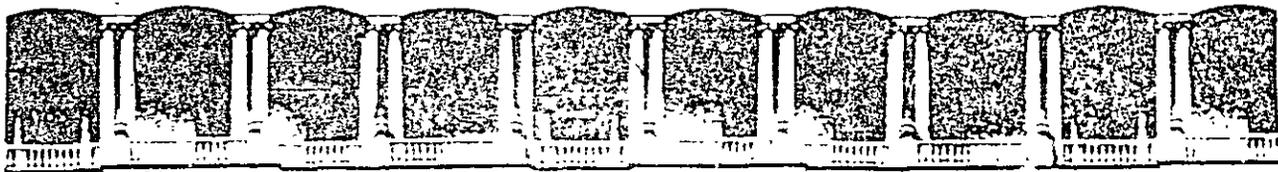
Se presenta generalmente en las partes inferiores de elementos colgantes localizados en la zona de radiación, así como en los que están situados en la zona de transferencia de radiación-convección.



"AMPULA" POR SOBRECALENTAMIENTO PROLONGADO.



FRACTURA POR SOBRECALENTAMIENTO PROLONGADO.



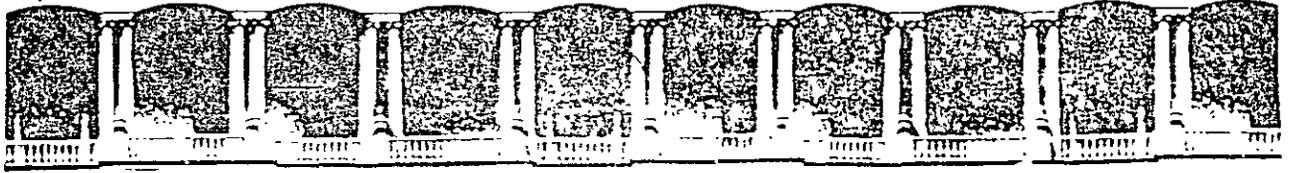
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

MANTENIMIENTO A CALDERAS

CAUSAS DE FALLAS

EXPOSITOR: ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DE 1998



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

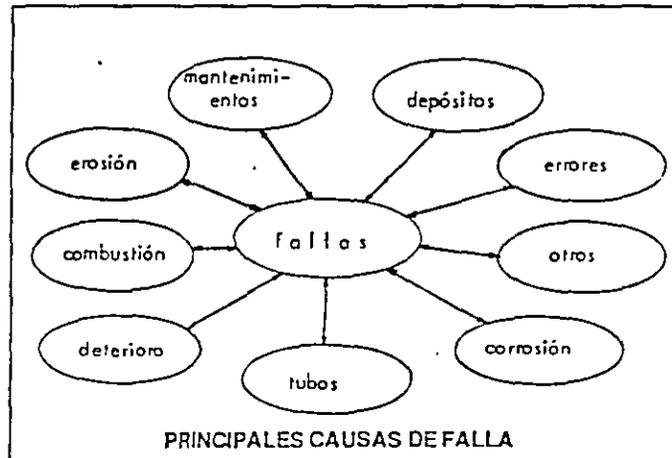
CURSOS ABIERTOS

MANTENIMIENTO A CALDERAS

TRATAMIENTO QUÍMICO

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DE 1998**

CAUSAS DE FALLA



1. Mantenimientos Insuficientes en calidad y falta de control sobre las pruebas.
2. Depositación de escoria, lado de gases.
3. Error humano.
4. Problemas diversos en otros equipos ajenos a la central.
5. Corrosión de partes a presión.
6. Falla en bancos de tubería.
7. Deterioro de los materiales.
8. Falta de control sobre el equipo de combustión.
9. Erosión en el hogar.

esta clasificación corresponde a las causas que provocan fallas, a su vez, estas fallas se presentan en los equipos y componentes

estas conclusiones después de analizar aproximadamente 1,174 eventos, captados a través de nueve años de operación comercial de algunas unidades.

IMPUREZA	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
OXIGENO	O_2	CORROSION EN LINEAS DE AGUA, EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR, CALDERAS, RETORNO DE CONDENSADO.	DEAERACION, ELIMINADORES DE OXIGENO (HIDRAZINA, SULFITO DE SODIO) INHIBIDORES DE CORROSION.
SULFURO DE HIDROGENO	H_2S	CAUSA OLOR A HUEVOS PODRIDOS. CORROSION GENERAL. VENENOSO.	AERACION, CLORACION. INTERCAMBIO IONICO CON RESINAS FUERTEMENTE BASICAS.
AMONIACO	NH_3	CORROSION DEL COBRE, ZINC Y SUS ALEACIONES. FORMACION DE IONES SOLUBLES-COMPLEJOS.	INTERCAMBIO CATIONICO. CLORACION. DEAERACION.
CONDUCTIVIDAD	EXPRESADA EN MMHOS/CM	RESULTADO DE SOLIDOS IONIZABLES EN SOLUCION. UNA ALTA CONDUCTIVIDAD INCREMENTA LAS CARACTERISTICAS CORROSIVAS DEL AGUA.	CUALQUIER PROCESO QUE DISMINUYA EL CONTENIDO DE SALES DISUELTAS. DESMINERALIZACION, DESTILACION. OSMOSIS INVERSA. ELECTRODIALISIS.
SOLIDOS SUSPENDIDOS.	VARIOS COMPUESTOS	SOLIDOS SUSPENDIDOS ES LA CANTIDAD DE MATERIA EN SUSPENSION DETERMINADA POR GRAVIMETRIA. TAPAN LINEAS, CAUSAN DEPOSITOS EN EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR CALDERAS, CONDENSADORES, ETC.	DECANTACION, FILTRACION PRECEDIDA DE COAGULACION.
SOLIDOS TOTALES	VARIOS COMPUESTOS	SUMA DE SOLIDOS DISUELTOS E INSOLUBLES. SE DETERMINA POR GRAVIMETRIA.	COMBINACION DE METODOS ARRIBA MENCIONADOS.
MATERIA ORGANICA	VARIOS COMPUESTOS	CORROSION, DEPOSITOS Y ESPUMA (EN CALDERAS). CONTAMINA LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.	CLORACION

Control de Calidad

La falta de control de calidad durante la fabricación, almacenamiento, transporte, construcción, limpieza y reparaciones durante el mantenimiento pueden originar fallas en los diversos componentes del generador de vapor. Los principales factores que originan fallas son: 1) Daños por productos químicos, 2) Material defectuoso y 3) Defectos de soldadura.

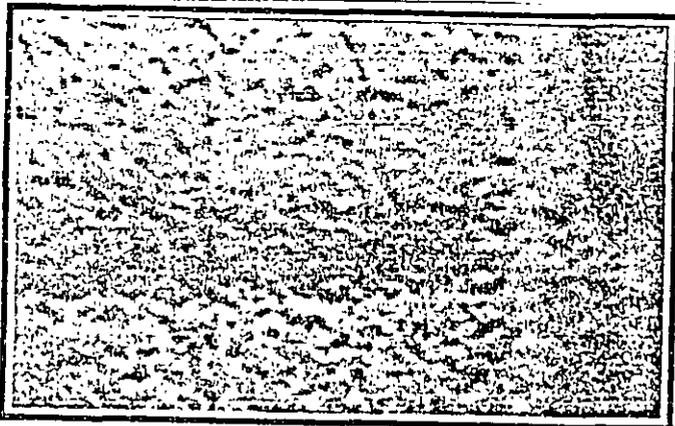
Daño por Productos Químicos

a) Causas probables

- Limpieza química inadecuada
- Tratamiento de agua incorrecta

b) Apariencia

El daño por productos químicos dependerá del proceso que se este aplicando, pero generalmente se presenta por una pérdida irregular de material en la superficie interna de la tubería.



CORROSION EN COMPONENTES INTERNOS DEL DOMO.

Material Defectuoso

a) Causas probables

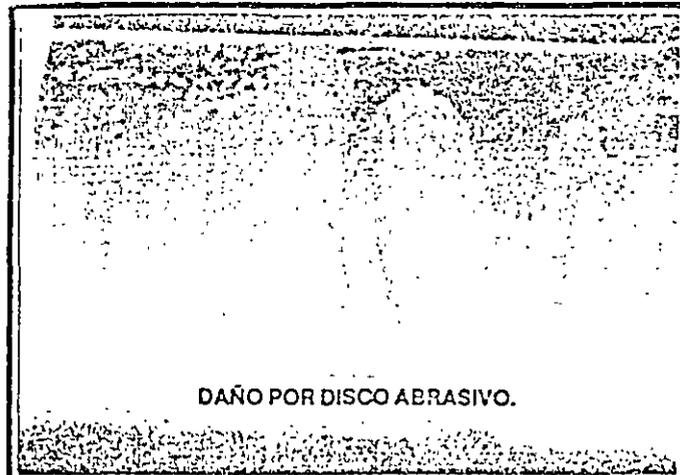
- Inadecuado tratamiento térmico durante la fabricación.
- Laminación en el espesor del material.
- Deformaciones severas por mal manejo.
- Daño en herramientas de corte, impacto, abrasión, etc.

b) Apariencia

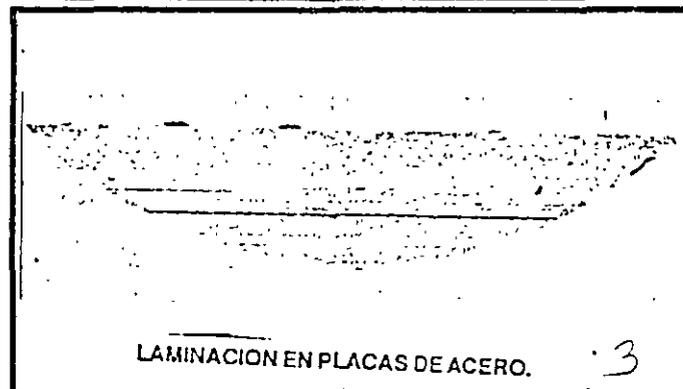
Esta dependerá del tipo de defecto encontrado, siendo estas muy generales y de conocimiento común: por ejemplo daño por disco abrasivo y laminaciones.

c) Localización

Estos tipos de defectos pueden ser encontrados en cualquier lugar del generador de vapor, pero más frecuentemente en bancos de tubería sometidas a condiciones críticas.



DAÑO POR DISCO ABRASIVO.



LAMINACION EN PLACAS DE ACERO.

IMPUREZAS DEL AGUA.

IMPUREZA	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
<u>SOLIDOS EN SUSPENSION</u>			
TURBIEDAD	COMPUESTOS VARIOS SE EXPRESA EN UNIDADES	IMPARTE APARIENCIA INDESEABLE. CAUSA DEPOSITOS EN LINEAS; EQUIPOS DE PROCESO Y DE INTERCAMBIO DE CALOR.	COAGULACION, ASENTAMIENTO, FILTRACION.
<u>SOLIDOS EN SUSPENSION Y SOLIDOS DISUELTOS</u>			
COLOR	COMPUESTOS VARIOS SE EXPRESA EN UNIDADES	CAUSA ESPUMA EN CALDERAS. INTERFIERE EN ANALISIS COLORIMETRICOS, PUEDE TEÑIR O COLOREAR EL PRODUCTO EN ALGUNOS PROCESOS.	COAGULACION Y FILTRACION, CLORACION. ADSORCION POR CARBON ACTIVADO.
<u>SOLIDOS DISUELTOS</u>			
DUREZA	SALES DE CALCIO Y MAGNESIO EXPRESADA COMO CO_3 .	PRINCIPAL FUENTE DE INCRUSTACIONES EN EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR, CALDERAS, LINEAS Y TUBERIAS. FORMA GRUMOS CON EL JABON.	SUAVIZACION, DESMINERALIZACION, DESTILACION, TRATAMIENTO INTERNO, DISPERSION.
ALCALINIDAD	BICARBONATOS (HCO_3) CARBONATOS (CO_3) E HIDROXIDOS (OH)	ESPUMA Y ARRASTRES DE SOLIDOS EN LA PRODUCCION DE VAPOR. FRAGILIZACION DEL ACERO EN CALDERAS. LOS CARBONATOS Y BICARBONATOS PRODUCEN CO_2 AL CALENTARSE Y ESTE GAS ES CORROSIVO.	SUAVIZACION POR CAL-SODA. TRATAMIENTO ACIDO. DESALCALINIZACION POR INTERCAMBIO IONICO. DESTILACION.
ACIDEZ MINERAL	ACIDOS LIBRES (H_2SO_4 , HNO_3 Y HCl) EXPRESADOS COMO Ca CO_3 .	CORROSION GENERAL	NEUTRALIZACION CON ALCALIS
pH	CONCENTRACION DE IONES HIDROGENO (DEFINIDO POR $\text{pH} = \log \frac{1}{\text{H}^+}$)	EL pH VARIA DE ACUERDO A LA ACIDIDAD O ALCALINIDAD DEL AGUA. AGL. NATURALES OSCILAN DE 6.0 A 8.0.	pH DEBE SER REGULADO CON ALCALIS O ACIDOS (O AUMENTARLO O BAJARLO).

Erosión por Sopladores de Hollín

a) Causas probables

- Localización impropia del soplador de hollín.
- Operación inadecuada del soplador de hollín.
- Soplado con cantidades considerables de condensado.
- Soplado con presión excesiva.

b) Apariencia típica

Este mecanismo de falla produce una superficie plana y lisa donde se ha movido el material.

c) Localización

Este fenómeno se presenta en áreas de influencia del soplado, ya sea con sopladores de hollín retráctiles, giratorios o fijos.



APARIENCIA TÍPICA DE EROSION POR SOPLADORES DE HOLLIN.

Erosión

El fenómeno de erosión, aún cuando en los generadores de vapor que queman combustóleo se presenta, es más severa su acción en generadores de vapor que queman carbón, y el desgaste de material producido está directamente influenciado por la cantidad, velocidad, tamaño y clase de partículas arrastradas en los gases de combustión. Se conocen tres tipos principales de mecanismos de erosión que son: 1) Erosión por ceniza volante, 2) erosión por ceniza de fondo y 3) Erosión por sopladores de hollín.

Erosión por Ceniza Volante

a) Causas probables

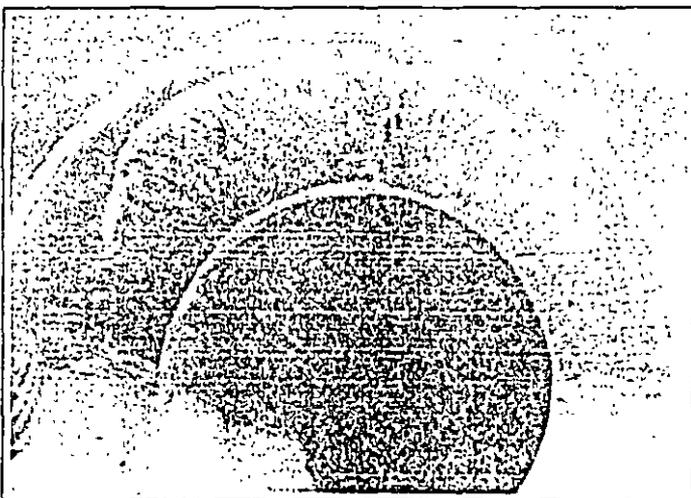
- Flujo irregular de los gases de combustión.
- Deslizamiento de tuberías oprimiéndose al paso del flujo de gases.
- Combustibles con alto contenido de cenizas.

b) Apariencia

Este mecanismo produce una superficie pulida, libre de óxidos.

c) Localización

Se presenta generalmente en huecos entre bancos de tubos, y en las zonas donde la velocidad de los gases se incrementa (Zona de convección).



EROSION POR PARTICULAS DE CARBON.

Erosión por Ceniza de Fondo

a) Causas probables

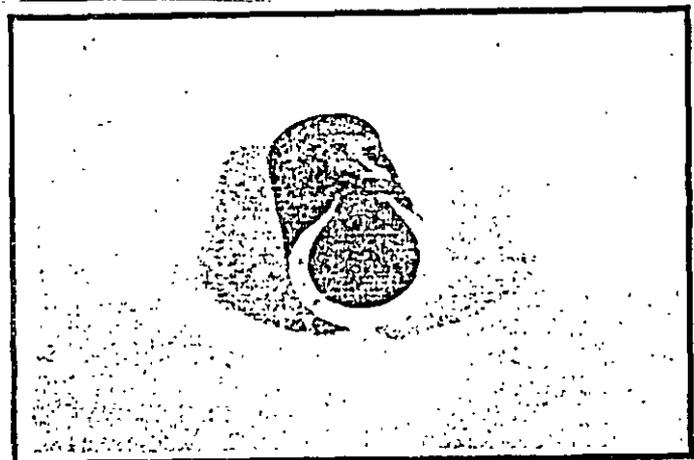
- Arrastre de escoria en tolvas de recolección.
- Propiedades del carbón utilizado.

b) Apariencia

Este mecanismo de falla presenta una superficie plana donde se está quitando el material, la falla presenta una fractura de borde delgado.

c) Localización

Generalmente se localiza en el piso de los generadores de vapor y en las partes inferiores de las tolvas de recolección de ceniza.



FRACTURA DE TUBERIA POR EROSION DE CENIZA DE FONDO.

Corrosión Lado Fuego

Los constituyentes del combustible y la temperatura del metal son factores importantes que promueven la corrosión externa de la tubería, los principales mecanismos de falla del lado fuego son:

1) Corrosión a baja temperatura

2) Corrosión a alta temperatura

Corrosión a Baja Temperatura

a) Causas probables

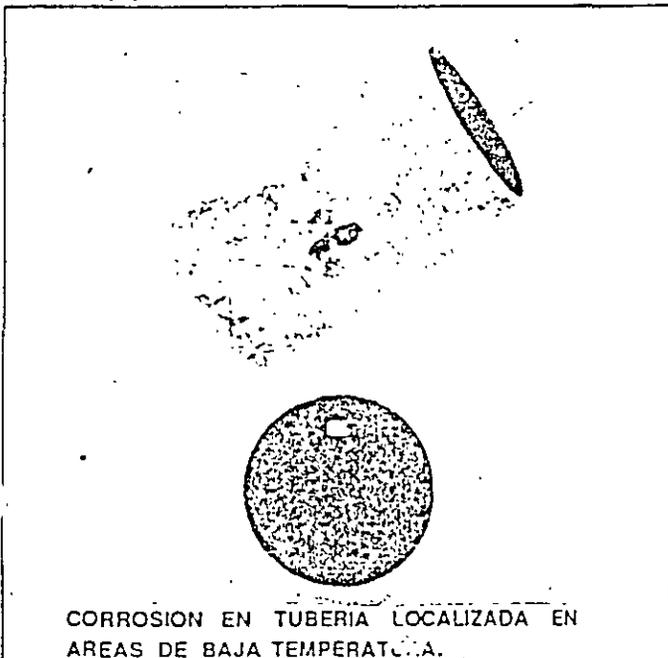
- Alto contenido de SO_3 en los gases de combustión.
- Operar con temperaturas de metales abajo del punto de rocío ácido.
- Operar con temperatura de gases inferiores al punto de rocío ácido.

b) Apariencia

Este tipo de falla produce un adelgazamiento en el espesor de la pared, provocando rupturas dúctiles, la superficie externa de los componentes atacados presentan depósitos porosos e irregulares y la falla se presenta en forma aproximadamente circular.

c) Localización

Generalmente se presentan en economizadores, ductos de salida de gases de combustión, precalentadores de aire, chimeneas.



Corrosión a Alta Temperatura

a) Causas probables

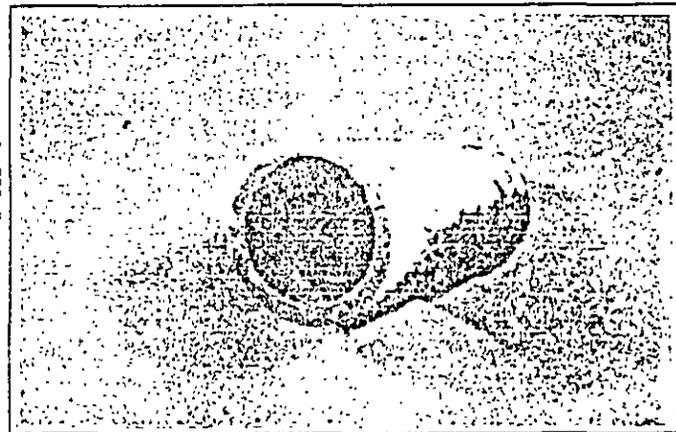
- Combustibles con alto contenido de vanadio, azufre y sodio.
- Alta temperatura de metal en la tubería.

b) Apariencia

La corrosión a alta temperatura produce adelgazamiento en la pared del tubo provocando la ruptura del tubo por esfuerzos, las fallas se presentan generalmente a los 30° y 45° de la dirección del flujo de gases.

c) Localización

Este mecanismo principalmente se localiza en los componentes situados en la zona de radiación.



DESGASTE EN EL ESPESOR DE LA TUBERIA POR LA CORROSION.

Fractura por Corrosión Bajo Esfuerzo

a) Causas probables

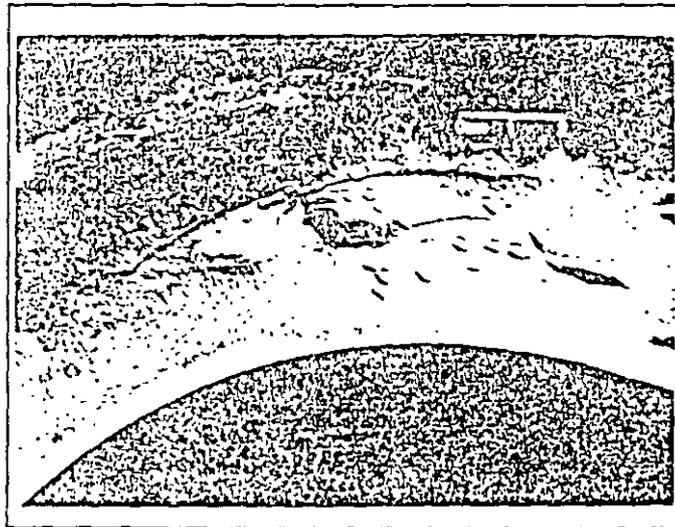
- Concentración de productos corrosivos internos en lugares altamente esforzados principalmente cloruros ó hidróxidos.
- Depósitos externos (nitratos, sulfatos) en lugares con altos esfuerzos de tensión.

b) Apariencia

Este tipo de falla produce una fractura de borde grueso, la orientación de la fractura puede ser circunferencial o longitudinal dependiendo de la dirección del esfuerzo de tensión.

c) Localización

Generalmente se presenta en sobrecalentadores y recalentadores en sitios donde están expuestos a concentración de sulfatos, cloruros o hidróxidos, así como en las curvas de estos y otros elementos.



FRACTURA EN CURVAS DE ELEMENTOS A PRESION.

Corrosión Localizada ("Pitting")

a) Causas probables

- El "Pitting" en la superficie interna de la tubería generalmente se debe a la operación con niveles altos de oxígeno en el agua.
- En la superficie externa a depósitos producto de la combustión expuestas a la atmósfera en paros.

b) Apariencia

Esta corrosión produce socavaciones en el material, generalmente con depósitos rojos por la formación de hermatite (Fe_2O_3)

c) Localización

Se localiza frecuentemente en tuberías horizontales ya sea de economizadores, recalentadores y sobrecalentadores.



CORROSION LOCALIZADA POR EL INTERIOR DE TUBERIA.

Daño por Hidrógeno

a) Causas probables

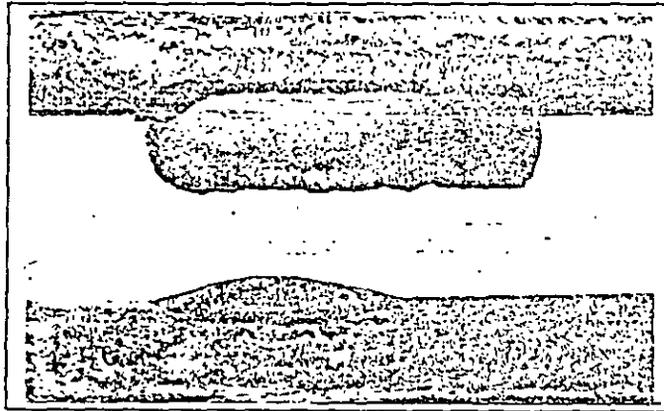
- Operación con bajo Ph del agua del ciclo.
- Contaminación de limpieza química.
- Funcionamiento inadecuado del control químico.
- Contaminación por fugas del condensador.

b) Apariencia típica

El daño por hidrógeno produce una fractura tipo ventana con bordes gruesos, y generalmente con incrustaciones internas en la zona de falla.

c) Localización

Se localizan generalmente en lugares donde existe una interrupción del flujo (anillos de respaldo), en tuberías horizontales o inclinadas y donde existe un alto flujo térmico.



APARIENCIA TÍPICA DE FALLA POR ATAQUE DE HIDROGENO.

Corrosión Lado Agua

Este mecanismo es promovido fundamentalmente por el tratamiento químico del agua del ciclo. La resistencia de los tubos a la corrosión depende fundamentalmente del nivel de pH del agua y de la cantidad de contaminantes. Por lo anterior el control de tratamiento de agua deberá de mantenerse moderadamente alcalina para proteger la capa de magnetita formada.

La corrosión del lado agua puede subdividirse en los siguientes mecanismos de falla: 1) Corrosión caústica, 2) Daño por hidrógeno, 3) Corrosión localizada "Pitting" 4) Fractura por corrosión bajo esfuerzo.

Corrosión Caústica

a) Causas probables

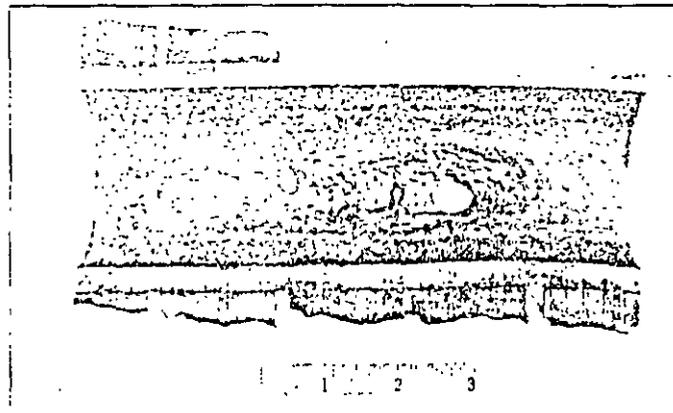
- Concentración alta de hidróxidos de sodio.
- Depósitos en zonas de alto flujo térmico.
- Arrastre de productos de corrosión del sistema precaldera.

b) Apariencia típica

Antes de la falla presenta la forma de "Ampulas" en las zonas donde los productos de corrosión se han depositado y por lo consiguiente se ha adelgazado la pared del tubo, después de la falla presenta aberturas pequeñas de bordes delgados.

c) Localización

Este mecanismo de falla se presenta en tuberías refrigeradas por agua, principalmente en soldaduras que usan anillo de respaldo, curvas, en tuberías horizontales y donde hay incidencia de flama o un alto flujo térmico (Zona de quemadores).



ATAQUE POR CORROSION CAUSTICA.

Soldadura de Metales Diferentes

a) Causas probables

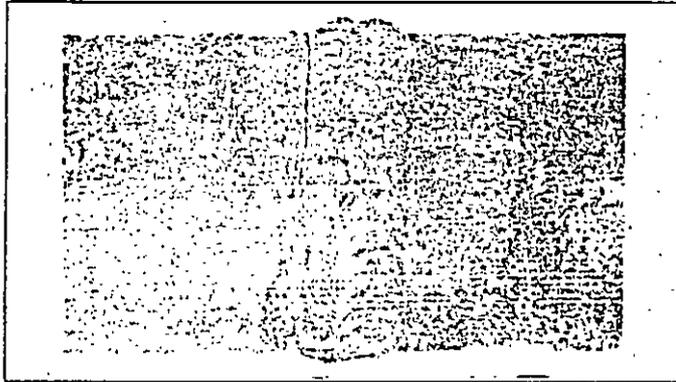
- Diferencias excesivas en expansión térmica.
- Soportaría inadecuada.
- Procedimiento inadecuado de soldadura.

b) Apariencia típica

Se produce una fractura circunferencial alrededor de la junta, paralela a la línea de fusión en aceros ferríticos, la fractura presenta bordes gruesos. Ver

c) Localización

Generalmente se presenta en sobrecalentador y recalentador secundario donde existen cambios de materiales ferríticos a Austeníticos.



FRACTURAS EN SOLDADURAS DE MATERIALES DIFERENTES.

Sobrecalentamiento Prolongado

a) Causas probables

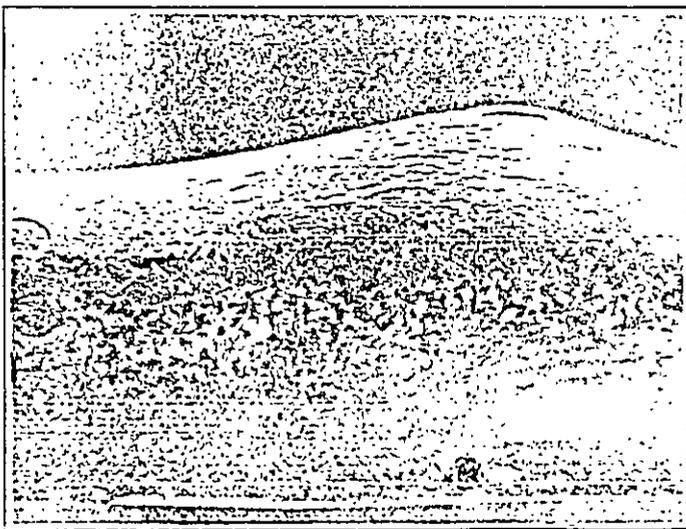
- Restricción en el flujo del refrigerante.
- Reducción en la capacidad de transferencia de calor.
- Bloqueo del paso de los gases de combustión.
- Incremento en el esfuerzo debido al adelgazamiento de la pared del tubo.
- Inadecuada selección del material.

b) Apariencia típica

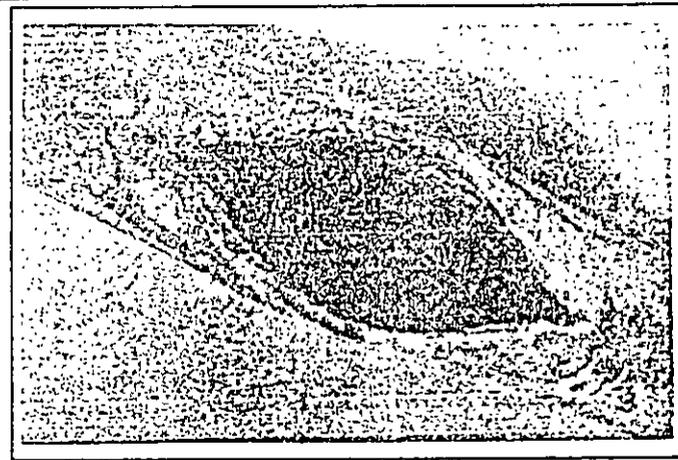
Esta falla produce una fractura longitudinal cuya extensión varía en función de su severidad, una pequeña falla formará una pequeña ampolla como se puede ver en la figura 3, una falla mayor formará una abertura, semejante a boca de pescado, esta presentará bordes gruesos.

c) Localización

Se presenta generalmente en las partes inferiores de elementos colgantes localizados en la zona de radiación, así como en los que están situados en la zona de transferencia de radiación-convección.



"AMPULA" POR SOBRECALENTAMIENTO PROLONGADO.



FRACTURA POR SOBRECALENTAMIENTO PROLONGADO.

Ruptura por Esfuerzo

Este mecanismo, predominantemente se presenta en las secciones del sobrecalentador y recalentador donde las temperaturas de operación de los tubos están en el rango de fluencia. Sin embargo también pueden presentarse en paredes de agua si las condiciones de transferencia de calor son anormales. Se consideran a continuación tres tipos de mecanismos de falla: 1) Sobrecalentamiento repentino 2) Sobrecalentamiento prolongado 3) Soldadura de metales diferentes.

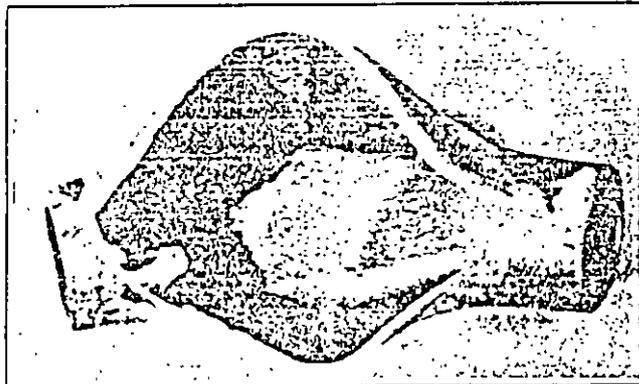
Sobrecalentamiento Repentino

a) Causas probables

- Bloqueo interno del tubo.
- Pérdida de circulación de refrigerante.
- Bajo nivel de agua en el domo.
- Excesiva temperatura en los gases de combustión.
- Patrón de combustión irregular.

b) Apariencia típica

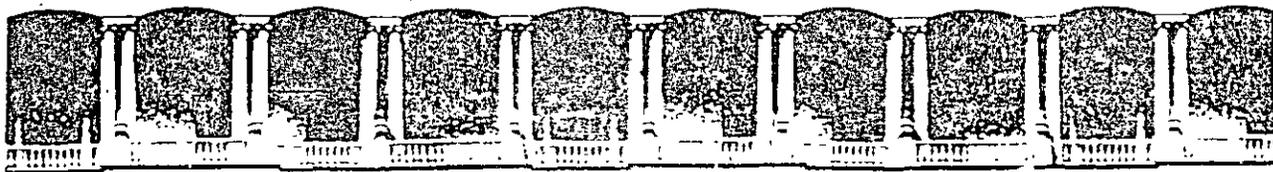
La falla presenta una severa reducción en el espesor de la pared, lo que generalmente se le conoce como falla de labios delgados.



FALLA TÍPICA DE SOBRECALENTAMIENTO REPENTINO.

c) Localización

Este tipo de falla se presenta generalmente en los elementos situados en la zona de radiación, (Platen, sobrecalentadores secundarios, recalentadores secundarios y paredes de agua a nivel de quemadores).



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

MANTENIMIENTO A CALDERAS

TRATAMIENTO QUÍMICO

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DE 1998**

IMPUREZA	FÓRMULA QUÍMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
OXIGENO	O_2	CORROSION EN LINEAS DE AGUA, EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR, CALDERAS, RE-TORNO DE CONDENSADO.	DEAERACION, ELIMINADORES DE OXIGENO (HIDRAZINA, SULFITO DE SODIO) INHIBIDORES DE CORROSION.
SULFURO DE HIDROGENO	H_2S	CAUSA OLOR A HUEVOS PODRIDOS. CORROSION GENERAL. VENENOSO.	AERACION, CLORACION. INTERCAMBIO IONICO CON RESINAS FUERTEMENTE BASICAS.
AMONIACO	NH_3	CORROSION DEL COBRE, ZINC Y SUS ALEACIONES. FORMACION DE IONES SOLUBLES-COMPLEJOS.	INTERCAMBIO CATIONICO. CLORACION. DEAERACION.
CONDUCTIVIDAD	EXPRESADA EN MMHOS/CM	RESULTADO DE SOLIDOS IONIZABLES EN SOLUCION. UNA ALTA CONDUCTIVIDAD INCREMENTA LAS CARACTERISTICAS CORROSIVAS DEL AGUA.	CUALQUIER PROCESO QUE DISMINUYA EL CONTENIDO DE SALES DISUELTAS. DESMINERALIZACION, DESTILACION. OSMOSIS INVERSA. ELECTRODIALISIS.
SOLIDOS SUSPENDIDOS.	VARIOS COMPUESTOS	SOLIDOS SUSPENDIDOS ES LA CANTIDAD DE MATERIA EN SUSPENSION DETERMINADA POR GRAVIMETRIA. TAPAN LINEAS, CAUSAN DEPOSITOS EN EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR CALDERAS, CONDENSADORES, ETC.	DECANTACION, FILTRACION PRECEDIDA DE COAGULACION.
SOLIDOS TOTALES	VARIOS COMPUESTOS	SUMA DE SOLIDOS DISUELTOS E INSOLUBLES. SE DETERMINA POR GRAVIMETRIA.	COMBINACION DE METODOS ARRIBA MENCIONADOS.
MATERIA ORGANICA	VARIOS COMPUESTOS	CORROSION, DEPOSITOS Y ESPUMA (EN CALDERAS). CONTAMINA LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.	CLORACION

IMPUREZA	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
SULFATOS	SO_4^-	LAS SALES ALCALINAS TIENEN CARACTER CORROSIVO.	DESMINERALIZACION, DESTILACION OSMOSIS INVERSA.
CLORUROS	Cl^-	LAS SALES DE CALCIO Y MAGNESIO SON- INCRUSTANTES INCREMENTA LOS SOLIDOS DISUELTOS EN EL AGUA Y SU CARACTER- CORROSIVO.	DESMINERALIZACION, DESTILACION Y OSMOSIS INVERSA.
NITRATOS	NO_3^-	INCREMENTA SOLIDOS EN EL AGUA (PERO ALTAS CONCENTRACIONES SON RARAS) -- UTIL PARA CONTROLAR LA FRAGILIZA -- CION EN CALDERAS.	DESMINERALIZACION, DESTILACION Y OSMOSIS INVERSA.
SILICE	SiO_2	INCRUSTACION Y DEPOSITOS EN EL AGUA DE ENFRIAMIENTO Y DE CALDERAS. VAPO- RIZACION EN LAS CALDERAS Y DEPOSI - TOS EN ALABES DE TURBINAS.	PROCESOS DE REMOSION EN CA -- LIENTE CON SALES DE MAGNESIO. ADSORCION POR RESINAS DE IN - TERCAMBIO IONICO FUERTEMENTE- BASICAS. DESTILACION Y OSMOSIS INVERSA.
FIERRO	Fe^{++} (FERROSO)	COLORACION Y PRECIPITACION EN EL -- AGUA. DEPOSITOS EN LINEAS, CALDERAS - ETC. ATACA LAS RESINAS DE INTERCAM-- BIO IONICO.	AERACION, COAGULACION Y FIL-- TRACION, SUAVIZACION CON CAL.-- INTERCAMBIO CATIONICO.
MANGANESO	Fe^{++} (FERRICO)	INTERFIERE EN ALGUNOS PROCESOS.	FILTRACION POR CONTACTO.
	Mn^{++}	MISMOS QUE EL FIERRO	MISMOS QUE PARA EL FIERRO.
ACEITES Y GRASAS	EXPRESADO COMO MA- TERIALES EXTRACTA- BLES POR CLOROFORMO.	DEPOSITOS, LODOS Y ESPUMADO EN CALDE- RAS. IMPIDE LA TRANSMISION DE CALOR- INDESEABLE EN LA MAYOR PARTE DE PRO- CESOS.	SEPARACION MECANICA, COAGULA- CION Y FILTRACION. FILTRA -- CION A TRAVES DE TIERRA DIA- TOMACEA.
<u>GASES</u>			
DIOXIDO DE CARBONO	CO_2	CORROSION EN LINEAS DE AGUA Y PAR - TICULARMENTE EN LINEAS DE VAPOR Y - CONDENSADO.	DEAREACION, NEUTRALIZACION - CON ALCALIS, USO DE AMINAS FIL - MICAS Y NEUTRALIZANTES.

IMPUREZAS DEL AGUA.

IMPUREZA	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
<u>SOLIDOS EN SUSPENSION</u>			
TURBIEDAD	COMPUESTOS VARIOS SE EXPRESA EN UNIDADES	IMPARTE APARIENCIA INDESEABLE. CAUSA DEPOSITOS EN LINEAS; EQUIPOS DE PROCESO Y DE INTERCAMBIO DE CALOR.	COAGULACION, ASENTAMIENTO, FILTRACION.
<u>SOLIDOS EN SUSPENSION Y SOLIDOS DISUELTOS</u>			
COLOR	COMPUESTOS VARIOS SE EXPRESA EN UNIDADES	CAUSA ESPUMA EN CALDERAS. INTERFIERE EN ANALISIS COLORIMETRICOS, PUEDE TERNIR O COLOREAR EL PRODUCTO EN ALGUNOS PROCESOS.	COAGULACION Y FILTRACION, CLORACION. ADSORCION POR CARBON ACTIVADO.
<u>SOLIDOS DISUELTOS</u>			
DUREZA	SALES DE CALCIO Y MAGNESIO EXPRESADA COMO CO_3 .	PRINCIPAL FUENTE DE INCRUSTACIONES EN EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR, CALDERAS, LINEAS Y TUBERIAS. FORMA GRUMOS CON EL JABON.	SUAVIZACION, DESMINERALIZACION, DESTILACION, TRATAMIENTO INTERNO, DISPERSION.
ALCALINIDAD	BICARBONATOS (HCO_3) CARBONATOS (CO_3) E HIDROXIDOS (OH)	ESPUMA Y ARRASTRES DE SOLIDOS EN LA PRODUCCION DE VAPOR. FRAGILIZACION DEL ACERO EN CALDERAS. LOS CARBONATOS Y BICARBONATOS PRODUCEN CO_2 AL CALENTARSE Y ESTE GAS ES CORROSIVO.	SUAVIZACION POR CAL-SODA. TRATAMIENTO ACIDO. DESALCALINIZACION POR INTERCAMBIO IONICO. DESTILACION.
ACIDEZ MINERAL	ACIDOS LIBRES (H_2SO_4 , HNO_3 Y HCl) EXPRESADOS COMO Ca CO_3 .	CORROSION GENERAL	NEUTRALIZACION CON ALCALIS
pH	CONCENTRACION DE IONES HIDROGENO (DEFINIDO POR $\text{pH} = \log \frac{1}{\text{H}^+}$)	EL pH VARIA DE ACUERDO A LA ACIDEZ O ALCALINIDAD DEL AGUA. AGUAS NATURALES OSCILAN DE 6.0 A 8.0.	pH DEBE SER REGULADO CON ALCALIS O ACIDOS (SUBIRLO O BAJARLO).

INTERCAMBIO IONICO

Los intercambiadores de iones son sustancias granulares insolubles, que tienen, en su estructura molecular, radicales ácidos o básicos, capaces de permutar, sin modificación aparente de su aspecto físico y sin alteración alguna o solubilización, los iones positivos o negativos, fijados previamente a estos radicales, por otros iones del mismo signo, que se encuentran en solución en el líquido puesto en contacto con ellos. Mediante esta permutación, llamada INTERCAMBIO IONICO, puede modificarse la Composición iónica del líquido a tratar, sin alterar el número total de iones existentes en este líquido, al iniciarse el tratamiento.

Otra manera de expresar el intercambio iónico, es la remoción de los iones indeseables de un agua cruda, transfiriéndolos a un material sólido llamado intercambiador de iones, el cual los acepta cediendo un número equivalente de iones de una especie deseable que se encuentra almacenada en el esqueleto del intercambiador de iones.

Este intercambiador de iones, tiene una capacidad limitada de iones almacenados en su esqueleto. A esta se le llama "Capacidad de intercambio"; en virtud de esto, llegará finalmente a saturarse con iones indeseables. Entonces se lava con una solución fuertemente regeneradora que contiene la especie deseable de iones, los que sustituyen a los iones indeseables acumulados, quedando el material de intercambio en condiciones similares a la iniciales (útil).

- Esta operación es un proceso químico cíclico y el ciclo completo incluye normalmente:
 - Retrolavado
 - Regeneración
 - Enjuagado
 - Servicio

Los intercambiadores iónicos, son estructuras en forma de esqueleto que poseen muchos sitios para el intercambio.

Es un ion de plástico insoluble, enorme y cargado electricamente para retener iones de carga opuesta. Es porosa, permeable por lo que participa en el proceso.

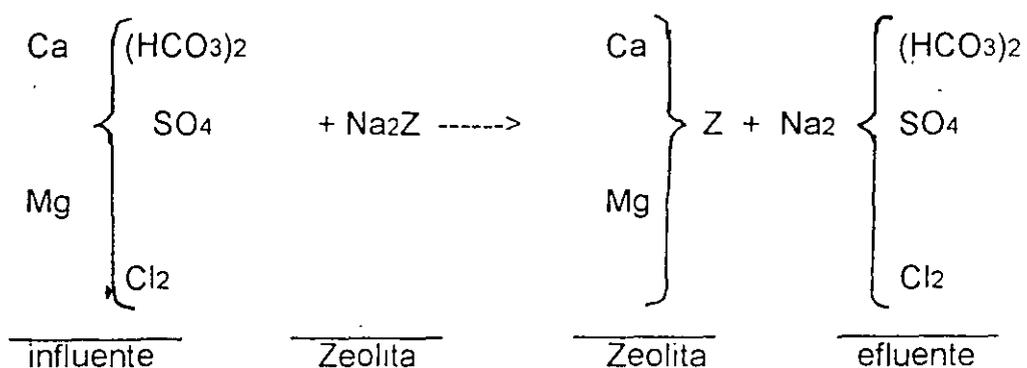
La mayor parte de los intercambiadores iónicos comerciales actuales son de materiales plásticos sintéticos, por Ej: Copolímeros de estireno y divinil benceno.

Este proceso de intercambio iónico, puede ser:

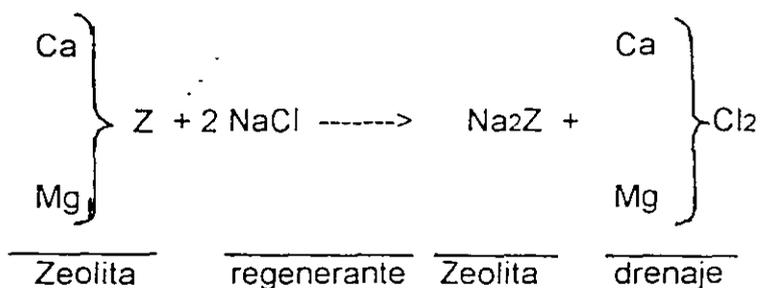
- Suavización con Zeolitas
- Desalcalinización
- Desmineralización

SUAVIZACION CON ZEOLITA

Llamado también ablandamiento, es el proceso de intercambio iónico más antiguo y más sencillo. Elimina la dureza del agua principalmente. Al saturarse se regenera con una sal muera de Cloruro de Sodio. Las reacciones químicas que se suscitan en el equipo suavizador, son las siguientes:



Para restituir la capacidad de intercambio de la resina se regenera:



El intercambio que sucede durante la operación, produce un efluente con sales de sodio, en vez de las sales de Ca y Mg del influente. La dureza en el efluente puede llegar hasta 2 a 4 ppm, dependiendo de la dureza del influente. (en ocasiones llega a cero)

El efluente con sales de sodio, de un suavizador con Zeolita, puede abastecer calderas de baja presión.

La cantidad de sal que necesita un suavizador para su regeneración está determinada por los límites aceptables para la calidad del efluente y la capacidad que la planta desea lograr para programar adecuadamente la regeneración del sistema basado en la mano de obra disponible.

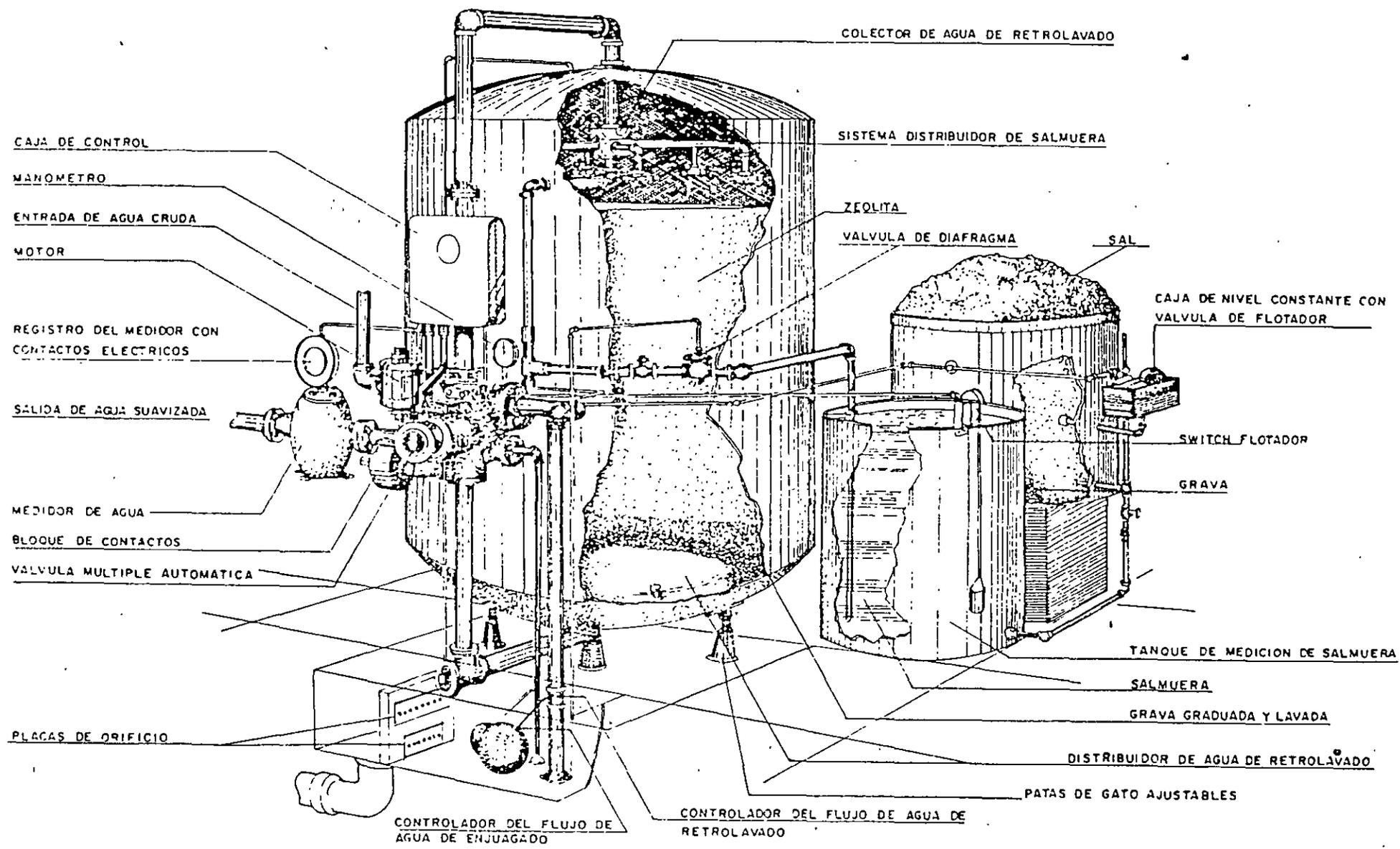
Por su diseño y forma de operación, un suavizador actúa también como filtro, esto obliga a efectuar un retrolavado cuidadoso.

En el caso de que el efluente contenga turbidez y lodo, la Zeolita se irá recubriendo y su capacidad disminuirá gradualmente.

Si el influente proviene de un tratamiento cal en frío, la Zeolita puede ser incrustada por Carbonato de Calcio o hidróxido de Magnesio, etc.

En este caso, será necesario "lavar" la resina con soluciones diluidas de ácido clorhídrico y después regenerar (2 veces) con la sal muera en forma normal.

(Algunas Zeolitas no resisten este lavado)



EQUIPO SUAVIZADOR DE AGUA

10

DESMINERALIZACION

Dado que las sales que se encuentran disueltas en el agua se encuentran disociadas en iones, con carga eléctrica positiva llamados "cationes y con carga eléctrica negativa llamados aniones", las soluciones son electricamente neutras, debido a la igualdad de ambas cargas.

El proceso de Desmineralización o desionización consiste en la eliminación de ambos iones contenidos en el agua. La pureza que se llega a obtener a través de este proceso en el efluente es de aproximadamente del orden de 0.10 a 0.20 ppm de sales totales disueltas y de menos de 10 ppb de Sílice.

Esta eliminación de iones la efectua en dos pasos:

1º.- Intercambio iónico para el intercambio de cationes por iones

Hidrógeno (H^+).

2º.- Intercambio iónico para el intercambio de aniones por iones

oxhidrilo (OH^-).

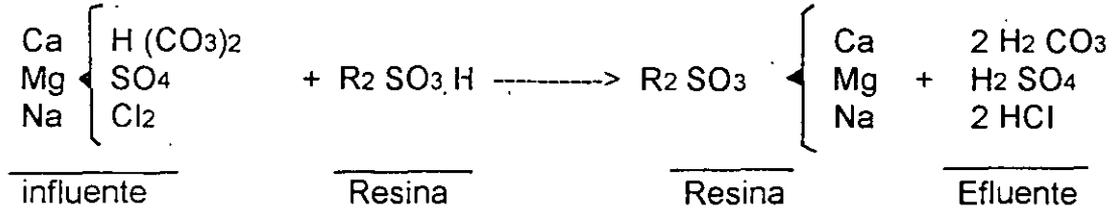
Para lograr ésto la resina se encuentra en ciclo hidrógeno y ciclo oxhidrilo, respectivamente. Por lo tanto sus regenerantes deberán contener H^+ y OH^- .

Para la regeneración de la resina catiónica generalmente se utiliza ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido clorhídrico (HCl) y para la regeneración de la resina aniónica se utiliza sosa cáustica ($NaOH$).

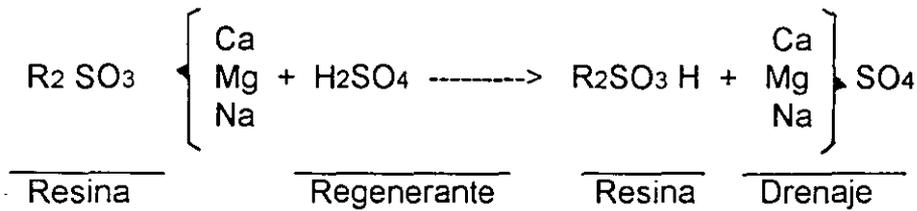
Las reacciones químicas de la desmineralización son:

REACCIONES QUIMICAS

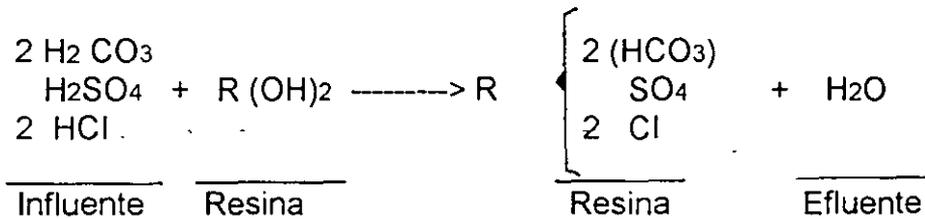
Unidad Catiónica :



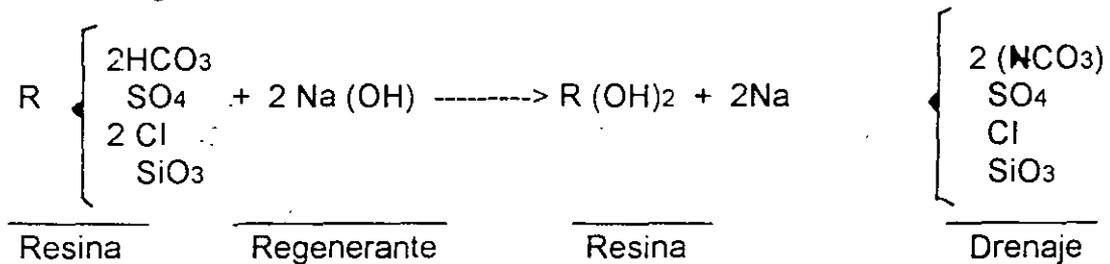
Regeneración:



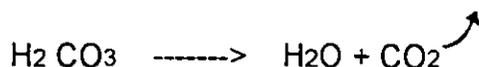
Unidad Aniónica:



Regeneración:



Generalmente el ácido Carbónico (H_2CO_3) se elimina en un descarbonatador:



así se aumenta la capacidad de la Unidad Aniónica.

La resina anterior, con grupo funcional sulfónico ($-\text{SO}_3\text{H}$) se denomina: Resina Catiónica fuertemente ácida y la aniónica Resina Aniónica fuertemente básica.

Cuando la resina Catiónica tiene un grupo funcional carboxílico ($-\text{COOH}$) se denomina Resina Catiónica debilmente ácida. Elimina unicamente los cationes que se encuentran como bicarbonatos.

Las resinas Aniónicas debilmente básicas intercambian unicamente los aniones de los ácidos altamente disociados o ácidos fuertes (sulfúrico, clorhídrico y nítrico). No remueven los ácidos débiles, como el carbónico, silícico, etc. Tienen mejor capacidad de intercambio que las fuertemente básicas y tienen además la propiedad de atrapar la materia orgánica, eliminándola durante la regeneración. La resina fuertemente básica absorbe la materia orgánica que le causa ensuciamiento y pérdida de capacidad por acumulación.

Por otra parte, la Resina debilmente Básica tiene mejor capacidad de intercambio que las fuertemente básicas.

Por lo anterior, el uso de una resina debilmente básica ahorra regenerante y protege a la resina fuertemente básica.

La selección de las resinas, así como del arreglo específico para un proceso depende de:

- Calidad del agua cruda o influente.
- Cantidad de agua necesaria.
- Calidad del agua tratada o efluente.

La Resina de intercambio iónico, físicamente esta formado por granos esféricos o irregulares de 0.4 a 0.6 mm de diámetro aproximadamente y, como muestra la figura de su estructura esquelética, posee muchos puntos de intercambio, que atrae los iones de carga eléctrica contraria a la carga que poseen los puntos de la estructura. De esta manera, los iones de Calcio que se aproximen

a la estructura de intercambio que posee iones de Hidrógeno o Sodio, serán atrapados y liberados estos últimos. Los anterior obedece a un fenómeno de SELECTIVIDAD de iones. El orden selectividad de iones en agua < 1000 mg/lit de Sólidos totales disueltos.

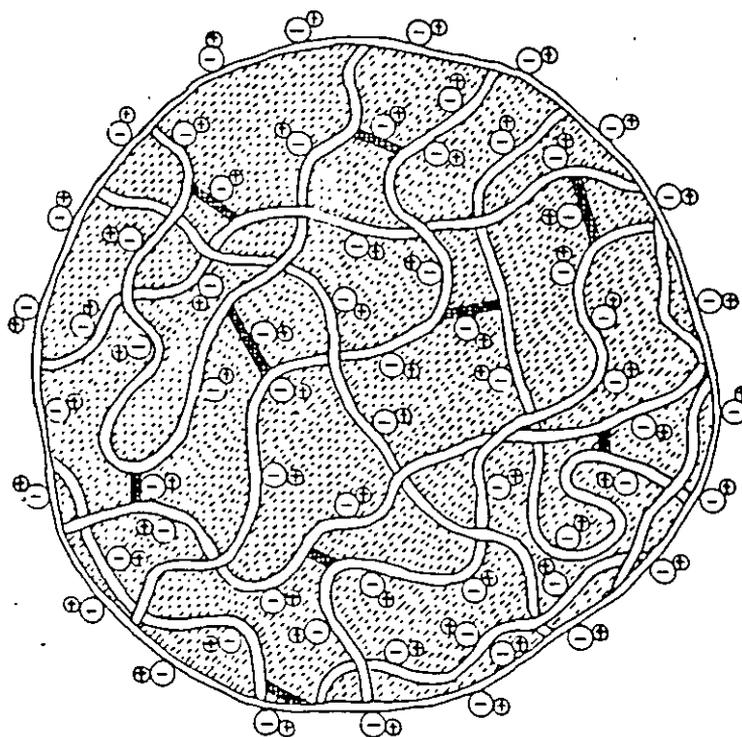
Para Cationes monovalentes: $K > NH_4 > Na > H > Li^+$

Para Cationes divalentes: $Pb > Ba, > Cd > Zn > Cu > Fe > Mn > Ca > Mg^{++}$

Para Cationes trivalentes: $Fe > Al^{+++}$

Para Aniones monovalentes: $NO_3 > NO_2 > Br > Cl > CN > HCO_3 > HSiO_3 > OH > F^-$

Para Aniones divalentes: $CrO_4 > SO_4 > SO_3 > HPO_4 =$



- ⊖ Sitio fijo de cambio cargado negativamente, por ejem. SO_3^-
- ⊕ Cation móvil de intercambio cargado positivamente, ejem. Na^+
- ~ Cadena poliestirénica
- ▬ Eslabón de cruce de devinilbenceno
- ▨ Agua de hidratación

ESQUEMA DE INTERCAMBIO DEL CATION FUERTE HIDRATADO

En general, la selectividad esta afectada por:

- La valencia iónica $3 > 2 > 1$
- El número atómico $Ba > Sr > Ca > Mg$
- Radio iónico hidratado. (a mayor radio menor selectividad)

En el caso de una resina en ciclo sodio, el calcio desplaza al sodio, por tener Concentraciones normales. Pero para la regeneración, el Sodio desplaza al Calcio, debido a su alta concentración en la solución regenerante.

La mayor parte de las unidades de intercambio iónico son simples recipientes que contienen un lecho de resina de intercambio iónico que opera por flujo descendente. Como se mencionó anteriormente, sobre una base cíclica:

- Operación: Se trabaja la unidad hasta un nivel de fuga predeterminado, donde se considera que esta agotada.
- Regeneración: Ahora se regenera la unidad. Este paso se inicia con una limpieza de la resina, con un flujo ascendente (retrolavado) y luego por elución química, con flujo descendente se le da nuevamente su capacidad inicial de intercambio a la Resina.

- Enjuague: En esta etapa el lecho de resina es enjuagado por flujo descendente, desplazando y enjuagando la resina y el tanque.
- Operación: Al término del enjuagado, la unidad esta lista para entrar en servicio.

Recordando que el diámetro efectivo del material de intercambio iónico es de 20-50 mallas (0.5 mm), hace que el lecho de resina funcione como un filtro muy efectivo, con las ventajas y desventajas correspondientes.

En ocasiones, la calidad del agua obtenida por unidad una catiónica, desgasificador y unidad aniónica o algún arreglo diferente, no es cumplida, se recurre a una segunda etapa desmineralizadora que pula el agua producida en la primera etapa. Otra posibilidad es el empleo de un lecho mixto, ya sea para servicio primario o para pulido. En este tipo de unidad las resinas catiónicas y aniónicas, se mezclan íntimamente, después de la regeneración, con objeto de ofrecer cientos de etapas para la desmineralización.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

MANTENIMIENTO A CALDERAS

**CRITERIOS DE ANÁLISIS A PROBLEMAS
DE OPERACIÓN CON SISTEMAS
DE INTERCAMBIO IONICO**

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERÍA
NOVIEMBRE DE 1998**

**CRITERIOS DE ANALISIS
A PROBLEMAS DE OPERACION
CON SISTEMAS
DE INTERCAMBIO
IONICO**

Por: V.R. Davies
Rohm and Haas Canada Inc.
Enrique Lemus N.
Química Trepic, S. A.

Presentado en 3er Congreso Nacional de:
AMFESAAC

Marzo 1982
México, D. F.

CRITERIO DE ANALISIS A PROBLEMAS DE OPERACION CON SISTEMAS DE INTERCAMBIO IONICO.

Durante muchos años se han presentado diversos problemas en la puesta en marcha de las unidades de intercambio iónico. Este es un intento de atacar los problemas en forma racional y sistemática, también se intenta sistematizar y diferenciar los diversos procedimientos de rejuvenecimiento para aclarar los objetivos y los pasos específicos de cada uno de ellos.

Los problemas se encuentran como las enfermedades, por sus síntomas. Los principales defectos de operación de las unidades de intercambio iónico son: baja capacidad, baja calidad o dicho de otro modo, alta fuga y alta pérdida de carga. Dichos síntomas se pueden deber a diferentes causas y la primera pregunta que nos surge es ¿cual puede ser la causa?. Para contestar esto, debemos seguir una serie de pasos, la práctica sin embargo nos puede evitar seguir pistas falsas y llegar rápidamente a la solución. Analicemos cada uno de los defectos de operación.

1.- PERDIDA DE CAPACIDAD

a) ¿ Ha aumentado la salinidad?. Diferentes épocas del año o diferentes fuentes de agua ocasionan variaciones en la salinidad y en la relación de diversos iones. Para poder saber cuanto se puede esperar razonablemente como capacidad como M3 entre regeneraciones, se deben hacer análisis.

b) ¿ Se ha perdido resina?. La forma más simple de responder es haciendo una medición de altura del lecho, cubicando si fuese necesario la columna. Es importante hacer la medición en la forma en que fué embarcada la resina originalmente ya durante su agotamiento o regeneración. Por regla general, las resinas fuertes se embarcan en la forma agotada y las débiles en la forma regenerada.

c) ¿ Se está efectuando una regeneración adecuada?. ¿ El nivel de regeneración es el adecuado?. Existe una forma muy simple de verificar esto, dividiendo el consumo digamos mensual de regenerante 100 % entre el número de regeneraciones en ese mismo período. Esto nos dará un promedio del consumo de regenerante por cada regeneración, esto permite el verificar rápidamente el nivel de regeneración recomendado por el fabricante de equipo.

d) ¿ La distribución es la adecuada?. ¿ En que proporción se regenera la resina?. El análisis de la elución puede contestarnos estas preguntas. - (véase la recomendación general anexa), la existencia de zonas - - -

muerzas dentro de la columna se pueden demostrar mediante el resultado del análisis, esto ocasiona problemas no solo durante la regeneración sino también durante la operación de servicio.

e) ¿El gasto de regeneración es el adecuado?. El gasto de regeneración es importante ya que exagerando, si este fuese muy lento se podría obtener un estado de equilibrio, quedando algunos grupos activos sin regenerar, por otro lado un gasto demasiado elevado es negativo por el escaso tiempo de contacto que permite. El gasto debe aproximarse del recomendado por el fabricante del equipo o de la resina. Si se tiene duda del medidor de caudal o éste estuviese descompuesto, se debe medir el efluente mediante muestreo, cronometrando el tiempo que tardan en llenarse recipientes con volumen conocido (véase tabla No. 1).

f) ¿La concentración de regenerante es la adecuada?. La concentración debe verificarse muestreando el influente a la unidad de intercambio iónico. La concentración deberá ser igual aproximadamente a la recomendada por el fabricante de resinas (véase la tabla No. 1).

g) ¿Están trabajando con exactitud los medidores integradores de caudal?.

h) ¿Se está midiendo con precisión el punto final del ciclo?. La capacidad está determinada por el punto final y éste depende del método -- analítico empleado. Es conveniente verificar la precisión de los instrumentos de determinación de conductividad o fotometría. En el caso de sistemas que emplean resinas débilmente ácidas deben revisarse las soluciones - - - " buffer " en caso de pérdida de capacidad.

i) ¿La resina se encuentra en condiciones adecuadas?. En caso de que todas las condiciones de operación sean las adecuadas, debe tomarse -- una muestra de resina y enviarse al laboratorio para análisis (véase el procedimiento de toma de muestras).

2.- BAJA CALIDAD DEL PRODUCTO

Cuando se presenta un problema de calidad, o sea de alta fuga de iones, ésta es específica para el tipo de sistema o de resina usada. En la tabla No. 2 se muestran los problemas específicos que se pueden presentar según el tipo de resina.

a) Fuga de alcalinidad. Si en una unidad con resina catiónica débil se presenta fuga de alcalinidad, esto puede deberse a una regeneración insuficiente. Es de tomarse en cuenta que cuando existe una regeneración en -

serie, el regenerante que sale de la unidad fuerte debe ser cuando menos igual a 110 % del teórico estequiométrico de la capacidad de la resina débil.

b) Fuga de dureza. La fuga de dureza se puede deber a precipitación de sulfato de calcio en la unidad catiónica; en este caso la hidrólisis del sulfato de calcio provoca la fuga de dureza. En estos casos, la fuga de dureza se va disminuyendo conforme avanza el ciclo. Es recomendable verificar la concentración de ácido sulfúrico o la que se hace en la regeneración.

c) Fuga de sodio. En el caso de las resinas catiónicas, este problema es muy raro, puede deberse por ejemplo a regenerante contaminado, -- por ejemplo en el caso de que la unidad catiónica se regenere en serie con la resina catiónica del lecho mixto, en estos casos la primera parte del regenerante se puede encontrar con una alta concentración de sodio y se recomienda el descartar el primer 15 a 20 % de la solución de regenerante que sale del lecho mixto. Si se efectúa algún cambio en la cantidad del regenerante se debe revisar junto con el fabricante de equipo o de resina para asegurar que la regeneración es completa. Se puede presentar en el caso de resinas aniónicas, fuga de sodio causada por fuga de la misma resina catiónica, la cual puede depositarse en el fondo de la columna aniónica; cuando se regenera la columna, la resina catiónica se satura con iones sodio, los cuales se liberan lentamente durante el paso de servicio. Un análisis del agua a la salida de la unidad catiónica y de la aniónica débil mostrará una fuga mayor en la unidad aniónica que en la catiónica.

d) Fuga de sílice. Este problema se puede presentar en unidades con resina aniónica tanto fuerte como débil. En resinas débiles regeneradas en serie puede suceder que el regenerante usado que proviene de la resina fuerte y que está bastante cargado con sílice, al pasar por la resina débil, alcance el punto iso-eléctrico, precipitando la sílice sobre la resina. En ciclos posteriores la sílice puede re-disolverse aumentando la fuga de sílice. Para evitar este problema, se recomienda descontar el primer 15 a 30 % del regenerante. En el caso de las resinas fuertemente básicas, la fuga de sílice puede deberse a varias causas como por ejemplo la pérdida de grupos activos fuertes, la contaminación o ensuciamiento de la resina por materia orgánica o la acumulación de sílice debido a condiciones deficientes de regeneración. El ensuciamiento de las resinas es un problema que requiere bastante atención, más adelante se analiza detenidamente así como los tratamientos recomendados.

e) Problemas de las resinas aniónicas fuertemente básicas. A diferencia de las resinas catiónicas fuertes y aniónicas débiles, las aniónicas fuertes son muy sensibles a la temperatura y se degradan rápidamente por lo que se recomienda que las resinas del tipo I no sean utilizadas a temperaturas mayores de 60°C y las del tipo II a temperaturas arriba de 40°C. Además estas resinas son más sensibles a efectos de degradación. La degradación de la funcionalidad fuertemente básica causa fuga de sílice por lo que es muy importante mantener la operación dentro de los límites recomendados.

Otro de los graves problemas de estas resinas es su tendencia a la contaminación con materia orgánica, esto causa varios problemas como se puede apreciar en la tabla No. 3.

f) Problemas relacionados con la operación de lechos mixtos. Con una regeneración apropiada los lechos mixtos pueden producir la máxima calidad de agua desmineralizada, sin embargo, existen dos problemas - que se relacionan al enjuague y a la calidad del agua tratada

El problema del enjuague frecuentemente se relaciona con la contaminación de los propios regenerantes durante su paso através de la columna, esta contaminación cruzada se manifiesta cuando la resina catiónica recibe sosa cáustica, saturándose parcialmente con sodio, o la resina aniónica recibe ácido sulfúrico saturándose parcialmente con bisulfatos.

La contaminación cruzada generalmente se presenta cuando el colector de la interfase se encuentra mal posicionado o cuando los volúmenes de resina no son los previstos originalmente. Harris y Ray demostraron que el mayor problema es la fuga de sulfatos y no la fuga de sodio, en pulimiento de condensados el problema de contaminación cruzada puede ser muy serio. Agua de enjuague, si se desea un método más rápido se puede emplear un lecho inerte para separar las resinas, como por ejemplo, el AMBERSEP. Este sistema utiliza perlas inertes que separan la resina aniónica de la catiónica después de retrolavado y que no toman parte en la operación de intercambio iónico. Con este proceso se puede eliminar la contaminación cruzada y disminuir el tiempo de enjuague.

La baja calidad del agua en los sistemas de lecho mixto se debe en gran parte de los casos a una mezcla insuficiente con aire comprimido. La reacción de intercambio iónico es prácticamente instantánea, pero si las capas de resina se encuentran separadas, se obtiene una reacción

de dos pasos, primero pasando el agua através de la resina aniónica y después através de la catiónica; como resultado se obtendrá una alta conductividad y una agua con un pH por debajo de 7. Es muy recomendable utilizar un buen sistema de distribución de aire, empezar la mezcla con una altura del agua de -- 2 a 5 cm. por arriba del nivel de resina y usar el aire comprimido a una presión de 0.15 a 0.3 Kg/cm² aprx. y a un gasto de 1.5 M³/M² min. Para asegurar una mezcla efectiva, debe mantenerse la inyección de aire por 15 minutos cuando menos. Es interesante notar que una presión elevada de aire puede hacer aparecer una mezcla vigorosa debido a la energía liberada durante la inyección pero los resultados son deficientes y es de esperarse que unas condiciones de este último tipo dañen la estructura física de la resina.

g) Contaminación orgánica de las resinas. En la tabla No. 4 se --- muestran los diversos tipos de contaminación. Ya se mencionó anteriormente el problema de la contaminación orgánica además de que existe bastante información publicada sobre este tipo de contaminación. Para prevenir la contaminación orgánica se recomienda seleccionar resinas especialmente resistentes como las acrílicas o las estirénicas macroreticulares, pero aún en estos casos es conveniente efectuar tratamientos con salmuera alcalina en forma periódica, la frecuencia puede ser desde un tratamiento por año a un tratamiento por mes de pendiendo de las características del agua de alimentación al sistema y del tipo de resina aniónica en operación (véase el procedimiento de limpieza con salmuera). Solamente en caso de que el tratamiento de salmuera alcalina no resulte efectivo para eliminar la contaminación orgánica, debe intentarse el tratamiento extremo de limpieza con hipoclorito de sodio (véase el procedimiento respectivo), es importante notar que el ión hipoclorito puede reaccionar con los grupos activos de la resina y posteriormente degradarlo, por lo que se recomienda saturar las resinas aniónicas con cloruros.

h) Contaminación con hierro. El hierro puede presentarse en forma natural en varias formas: cuando el hierro se presenta en forma de suspensión insoluble, en esta forma se separa del agua por filtración, depositándose en forma sólida sobre el lecho de resina. El hierro puede encontrarse también en solución en la forma ferrosa pero oxidarse a la forma férrica antes de la unidad de intercambio catiónico. Por último, la resina catiónica puede adsorber el hierro soluble en forma férrica, el cual se oxida una vez en la resina. El hierro en suspensión se puede eliminar mediante un retrolavado prolongado antes de la regeneración. Cuando ocurren precipitaciones antes de la unidad catiónica, estas se presentan en la forma de hidróxido férrico; este es un producto gelatinoso y pegajoso que recubre las perlas de resina, envenenándolas y

haciéndoles perder capacidad. Se recomienda en este caso efectuar una limpieza con hidrosulfito de sodio a fin de reducir el hierro al ión ferroso que es más soluble. (véase procedimiento respectivo).

El más difícil de los tratamientos es cuando el ión se ha oxidado de ferroso a férrico una vez precipitado en la resina, aquí se recomienda un tratamiento con ácido clorhídrico concentrado (véase procedimiento respectivo). Es muy importante tomar en cuenta la corrosividad del ácido clorhídrico, especialmente en lo relacionado con los materiales de construcción, es recomendable utilizar inhibidores de corrosión.

i) Contaminación con aceite. El origen del aceite es muy variado, este puede acarrear en el aire comprimido desde los sellos del compresor, también como en el caso de los campos petroleros el mismo crudo puede contaminar la resina. Se han presentado casos como en las plantas de inyección de vapor para extracción de crudos pesados por ejemplo en que la viscosidad del aceite es tan elevada que no se puede eliminar por los medios comunes y se tiene que desechar parte de la resina. El aceite provoca la formación de una película alrededor de las perlas de resina y obstruyendo la operación de intercambio iónico.

En el caso de aceites lubricantes, se puede determinar si existe contaminación por luz ultravioleta. Es recomendable programar un mantenimiento adecuado de los compresores e instalar eliminadores de aceite en la línea. Cuando el agua cruda está contaminada, es conveniente relocalizar los puntos de toma de agua o instalar eliminadores de aceite; de entre los sistemas destacan los filtros coalescentes con precapa. Para corregir el efecto de contaminación con aceite es recomendable efectuar la limpieza con detergente no iónico de baja espuma (véase el procedimiento respectivo).

j) Ensuciamiento con lodos o polielectrolitos. En sistemas con pretratamiento defectuoso o sin pretratamiento se puede presentar este problema. El lodo acumulado sobre la resina puede llegar a formar una torta la cual aumenta la pérdida de carga, puede agrietarse y provocar canalizaciones. La acumulación puede ser tan pesada que un retrolavado normal no es capaz de levantar la torta y puede necesitarse un lavado a un gasto inicial mayor y durante tiempos más prolongados hasta de 30 minutos.

La agitación con aire como en los lechos mixtos puede ayudar antes del retrolavado. Si esto no produce resultados satisfactorios se puede emplear una limpieza con dispersante (3) detergente (ver procedimiento respectivo).

k) Crecimiento de algas y bacterias (esterilización). Algunas resinas de intercambio iónico tienden a acumular bacterias y algas. Esto -- puede ser negativo no solo para las aplicaciones farmacéuticas o alimenticias, sino también para la operación normal de las unidades ya que los crecimientos pueden llegar a tapar los internos y causar baja eficiencia por una distribución ineficiente.

Esto puede ser corregido mediante los procedimientos de esterilización con manganeso de potasio o con agentes de cloro lento. Es importante notar que el tratamiento con hipoclorito es un recurso extremo y no debe aplicarse con frecuencia, el tratamiento con agentes de cloro lento - es mas moderado y se puede utilizar como procedimiento rutinario. Si se desea tener un producto libre de bacterias y pirógenos de los sistemas de intercambio iónico deberán utilizarse medidas especiales como el pulimento con filtros micrónicos, adsorbentes de bacterias o sistemas de ultrafiltración.

l) Precipitación de sulfato de calcio. Este problema se presenta cuando se sobrepasa el límite de solubilidad del sulfato de calcio en la resina.

El producto de solubilidad es de 2000 ppm. a 25 °C y la insolubilidad aumenta con la temperatura por lo que este precipitado es muy difícil de eliminar (véanse los comentarios anteriores sobre la concentración de regenerante). Entre las técnicas para eliminar este precipitado están la de efectuar retrolavado prolongado con agua suavizada, también existen procedimientos con sales de sodio de E.D.T.A, aunque estos últimos son costosos y requieren de precauciones especiales. El tratamiento más común consiste en la limpieza con ácido clorhídrico, aunque la disolución del precipitado es bastante lenta y es necesario repetir periódicamente el procedimiento hasta solucionar el problema.

m) Acumulación de sílice. Cuando no se efectúan regeneraciones completas de las resinas aniónicas fuertes y como resultado de los cambios de pH, la sílice que queda en la resina se puede acumular y polimerizar formando cadenas. Ya se mencionó anteriormente que la acumulación de sílice coloidal - se puede presentar en las resinas aniónicas débiles, estos problemas pueden agravarse por la presencia de materia orgánica en la propia resina. En estos casos se recomienda una regeneración con sosa cáustica en tibio (véase el -- procedimiento correspondiente). Debe tomarse en cuenta la sensibilidad a la temperatura de las resinas aniónicas.

n) Precipitación con sulfato de bario. Este puede ser un problema

muy serio, causado aún por la presencia de cantidades muy pequeñas de bario en el agua cruda. Se presenta frecuentemente en las cercanías a las áreas de perforación de pozos en los que se emplean baritas en los procesos de perforación. Recientemente se han empleado con éxito algunos procesos de limpieza con fórmulas a base de EDTA, estas formulaciones pueden ser adquiridas de algunas compañías de servicio químico líderes en su campo. Un tratamiento con resultados relativamente aceptables es la limpieza prolongada y repetida con ácido clorhídrico. El sulfato de bario depositado en los colectores es prácticamente imposible de eliminar por medios químicos.

3.- PERDIDA DE CARGA EXCESIVA

La pérdida de carga através de una columna empacada depende de dos componentes: la pérdida de carga del equipo y la pérdida de carga de la resina. Para diferenciar si la pérdida de carga se debè o no al componente de la resina, es conveniente instalar manómetros en los compartimientos superior e inferior de la columna para diferenciar el efecto de los componentes. Es importante cuando se efectuen trabajos en columnas con recubrimiento, consultar al fabricante del equipo ó a algún contratista especializado para evitar dañar el recubrimiento y corroer la columna. Los manómetros deben revisarse frecuentemente y estar bien calibrados.

a) PROBLEMAS DEL EQUIPO

I.- Distribuidor de entrada obstruido. Existen varios motivos por los que se puede bloquear el distribuidor de entrada, uno de ellos es la acumulación de lodo o materia en suspensión por un pretratamiento defectuoso o la falta de pretratamiento por completo. Este problema se presenta en la primera columna del trèn de intercambio iónico.

El distribuidor de entrada también se puede obstruir con finos de resina, esto puede deberse a un retrolavado excesivo o ineficiente. Cuando baja la temperatura y aumentan la densidad y viscosidad del agua, el gasto normal de retrolavado puede resultar excesivo.

Por otro lado la oxidación de las resinas puede ocasionar que la degradación física cause una disminución en la densidad, lo cual aumentará la expansión durante el paso de retrolavado. Una situación que se puede presentar cuando el agua que se emplea en el retrolavado libera gases es que las burbujas se acumulan en las perlas de resina, ocasionando que floten, elevándose y bloqueando los distribuidores. En el caso de lechos comprimidos puede ocurrir que el gasto normal de retrolavado no sea suficiente y se necesite utilizar un gasto mayor, esto puede causar que todo el lecho de resina se levante como un pistón,

este problema puede dañar la resina, si sube todo el lecho, los finos de la parte superior también bloquearán los distribuidores superiores. Es conveniente verificar cuando se presente una situación de gasto excesivo, los medidores de caudal, ya que para una operación adecuada, estos deben estar calibrados correctamente.

II.- Sistemas colectores inferiores. Estos sistemas son de una variedad tan amplia enumerar sus ventajas y desventajas estaría fuera del alcance de este trabajo, estos sistemas pueden ser del tipo de lecho soporte, coladores de inoxidable o de plástico, tubos perforados con mallas de diversos materiales y muchos más. Nos limitaremos a mencionar que los principales problemas que se presentan en los colectores inferiores son: la deformación causada por falta de apoyo durante la operación o por defectos de construcción que permiten la existencia de puntos débiles, el ablandamiento o inclusive la fusión de piezas de plástico, como en el caso de temperaturas elevadas como por -- ejemplo en el caso de la reacción exotérmica de dilución de sosa caústica al 50 % y el propio taponamiento con finos de resina; aunque después del retrolavado los finos deberían estar reclasificados y solamente deberían existir perlas gruesas en el fondo de la columna, una distribución ineficiente puede originar un flujo turbulento cuyas corrientes podrían arrastrar finos al fondo de la columna y bloquear los colectores.

III.- Medidores de gasto. Una lectura incorrecta del gasto puede llevar a conclusiones equivocadas sobre la pérdida de carga.

IV.- Paredes de las tuberías y columnas. Es una práctica recomendable, efectuar inspecciones periódicas de las paredes del equipo. Si el recubrimiento de las columnas se llega a desprender, esto puede producir resultados desastrosos por la pérdida de carga que pueden ocasionar. Los recubrimientos de caucho o ebomita deberían inspeccionarse mediante pruebas de chispa, para prevenir el desarrollo de puntos de corrosión.

b) PROBLEMAS DE LA RESINA DE INTERCAMBIO IONICO

Existen dos tipos de materiales intercambiadores de iones clasificados - por su forma física: las perlas esféricas y los gránulos irregulares. Las perlas esféricas ofrecen ventajas desde un punto de vista de pérdida de carga, - los gránulos en cambio tienden a acomodarse y a taponar los intersticios de los colectores.

Es preferible en el caso de materiales con gránulos irregulares que el tamaño de partícula sea mayor que el normal para evitar problemas relacionados

con la pérdida de carga, por otro lado los tamaños mayores tienen características más pobres en cuanto a características cinéticas por lo que es preferible a final de cuentas, utilizar materiales con forma de perlas.

El tamaño de las perlas varía entre 0.30 mm. y 1.20 mm. (16 - 50 mesh EUA). Este tamaño puede variar dependiendo del lote de fabricación y del tipo de resina, no es de esperarse ningún problema a menos que el tamaño sea por debajo del mínimo.

Por lo general los problemas de alta pérdida de carga en resinas de intercambio iónico se deben a factores externos:

I) DEGRADACION FISICA POR OXIDACION

La oxidación puede ser causante como por ejemplo cloro libre en concentraciones mayores a 0.1 ppm, el cual en presencia de metales (como hierro, magnesio, cromo, etc), puede llevar a degradación de los enlaces cruzados de la matriz a la resina.

Los efectos de esta degradación pueden ser: la formación de finos de la que se hablará más adelante y el ablandamiento de las perlas, lo cual crea acomodados y deformaciones que disminuyen el espacio vacío entre las perlas aumentando la pérdida de carga. Complicando un poco el problema, también se pueden producir subproductos de la degradación, los cuales arrastrados por el agua que pasa por ejemplo por una resina catiónica, van a parar a la resina aniónica provocando una contaminación orgánica irreversible.

II) DEPOSITOS SOBRE LA RESINA

Estos problemas ya han sido tratados en la parte dedicada a contaminación y ensuciamiento, algunos de los depósitos que presentan mayores problemas son los siguientes:

El ensuciamiento con hierro, si no se remedia puede acumularse y ser la causa de alta pérdida de carga. La acumulación de lodos y de polielectrolitos puede también originar pérdida de carga. La precipitación de sulfato de calcio en forma excesiva puede hacer necesaria la reposición del lecho. El sulfato de bario que se deposita sobre los internos es causa de este problema también.

Un problema al que se debe prestar atención especial, es el de productos de corrosión por la gravedad que puede llegar a presentar. Se recomienda prestar especial atención a la operación de pulimento de condensados, tratamiento de agua a altas temperaturas, materiales adecuados de construcción y puntos de corrosión en equipos tanto en recubrimientos defectuosos como en cordones de soldadura.

Casi todos los problemas de depósito fueron discutidos anteriormente, así como los tratamientos recomendados.

III) FINOS

Se conocen como finos aquellas perlas o fragmentos que pasan a través de una malla de 0.3 mm. (50-mesh F.U.A.), la cantidad en una resina nueva mas de pérdida de carga (aún las resinas con tamaño mayor que el normal -- como las tipo condensado por ejemplo, contienen una pequeña cantidad de fi nos). En una operación eficiente, los finos son eliminados durante el retro-lavado y las resinas usadas llegan a tener menos finos que las nuevas, - por otro lado, durante un retrolavado efectivo, la resinas se reclasifica, colocándose los finos en la parte superior del lecho y los gruesos en el fon do.

Las causas que originan finos son los choques físicos, como el choque osmótico, la erosión mecánica, una alta pérdida de carga, en algunos casos el congelamiento. Los finos tienden a ocupar los espacios vacíos del lecho y empacarlo; no solamente causan problemas de pérdida de carga, sino también el agrietamiento del lecho y la formación de un camino preferencial o sean problemas de calidad y capacidad.

Cuando se note la presencia de finos, se recomienda primero corregir la operación de retrolavado y aún efectuar retrolavados prolongados a fin de corregir la situación antes de proceder a localizar la causa de la forma ción de finos. Cuando se utilicen coladores, filtros o mallas en el colector superior que recibe el agua de retrolavado, es conveniente quitar temporal mente estos dispositivos de seguridad contra la pérdida de resinas tanto du rante el retrolavado para corregir la acumulación de finos, como durante la puesta en marcha de la columna en cuestión.

4) CONCLUSIONES

En este trabajo se han tratado de resumir los principales problemas de operación que se pueden presentar en la operación de sistemas de intercambio iónico.

Estamos conscientes de que algunos problemas específicos pueden haber sido omitidos pero confiamos en que aquellas personas interesadas en este - tema encontrarán ideas y criterios que les serán de utilidad para profundizar en el problema específico.

Los autores desean agradecer a ROHM AND HAAS Canadá, Inc. su coopera ción para la elaboración de este trabajo.

RECOMENDACION GENERAL NO. 1

=====

ANALISIS DE LA ELUCION

=====

El objetivo principal del análisis de la elución es obtener la curva de concentración de regenerante libre a la salida de la unidad. Esta curva se puede usar de varias maneras; Si la distribución es uniforme y se obtiene un buen perfil de velocidades en toda el área transversal de la columna, la curva presenta un pico bien definido; en cambio si la distribución es ineficiente, la curva presentará una forma plana o irregular (ver figura No. 1). Efectuando una integración gráfica de la -- curva (ver figura No. 2) se puede determinar la cantidad de regenerante no utilizado, conociendo la carga iónica adsorbida en la columna se puede verificar el balance de material ya que la cantidad de regenerante alimentado a la columna debe ser equivalente al utilizado para regenerar la resina más el no utilizado.

Para construir la gráfica se recomienda tomar muestras cada dos minutos durante los pasos de regeneración y enjuague lento. Cada muestra se debe titular para determinar la concentración de regenerante libre. Por ejemplo en el caso de la regeneración con sosa cáustica se efectúa una titulación con ácido usando fenolftaleína como indicador.

TABLA No. 1

Condiciones de Regeneración Sugeridos

A.- Gastos de regeneración:

H Cl : 4 a 8 VL/h. (0.5 a 1 gal/min. pie³)

NaOH : 2 a 4 VL/h. (0.25 a 0.5 gal/min. pie³)

H₂SO₄ : 4 a 12 VL/h. (0.5 a 1.5 gal/min. pie³)

B.- Concentración de regenerante:

H Cl : 4 % a 10 %

NaOH : 4 % a 7 %

H₂SO₄ : (co-corriente) : 2 % inicialmente en resinas catiónicas fuertemente ácidas.
0.7 % en resinas catiónicas débilmente ácidas.

H₂SO₄ : (contra-corriente) 0.7% a 1.3%, la concentración óptima es de 1.3 % con un tiempo de contacto de 30 minutos

TABLA No. 2

PROBLEMAS DE CALIDAD SEGUN EL TIPO DE RESINA

<u>FUGA</u>	<u>TIPO DE RESINA</u>
ALCALINIDAD	Catiónica débilmente ácida
DUREZA	Catiónica débilmente ácida Catiónica fuertemente ácida
SODIO	Catiónica fuertemente ácida Aniónica débilmente básica
ACIDEZ MINERAL LIBRE	Aniónica débilmente básica
pH ALTO	Aniónica débilmente básica
CONDUCTIVIDAD	Aniónica débilmente básica Aniónica fuertemente básica
SILICE	Aniónica débilmente básica Aniónica fuertemente básica
ENJUAGUE DEMORADO	Aniónica débilmente básica Aniónica fuertemente básica

TABLA No. 3

EFFECTOS DE LA CONTAMINACION ORGANICA EN RESINAS ANIONICAS FUERTE-
MENTE BASICAS.

- 1.- Bajo pH *
- 2.- Alta conductividad *
- 3.- Fuga de sílice mayor **
- 4.- Aumento en el agua necesaria para enjuague ***

* Estos efectos se atribuyen a una hidrólisis parcial de la materia orgánica que permanece en la resina después de la regeneración.

** Se debe a una regeneración incompleta por los efectos estéricos de los contaminantes.

*** Se debe al efecto anfotérico de los contaminantes.

TABLA No. 4

TIPOS DE CONTAMINACION DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

- 1.- Contaminación orgánica (usualmente se presenta en las resinas aniónicas).
- 2.- Envenenamiento con hierro (puede afectar tanto a las resinas catiónicas como a las aniónicas).
- 3.- Contaminación con aceite
- 4.- Contaminación con lodos/contaminación con polielectrolitos.
- 5.- Crecimiento de algas y bacterias
- 6.- Precipitación de sulfato de calcio
- 7.- Acumulación de sílice
- 8.- Precipitación de sulfato de bario

TABLA No. 5

FACTORES QUE AFECTAN LA PERDIDA DE CARGA ATRAVES DE LOS LECHOS DE RESINA DE INTERCAMBIO IONICO.

- 1.- Temperatura del agua
- 2.- Densidad del agua
- 3.- Viscosidad del agua
- 4.- Volúmen vacío del lecho de resina
- 5.- Tamaño de partícula
- 6.- Superficie de la resina (por ejemplo naturaleza de la superficie.)
- 7.- Efectos de las paredes
- 8.- Materia extraña en el lecho

PROCEDIMIENTO No. 1

LIMPIEZA CON SALMUERA ALCALINA

CONCENTRACION:

NaCl	10 %
NaOH	2 %

NIVEL DE REGENERACION:

NaCl	100 %	300 g/l (a)
NaOH	100 %	60 g/l (a)

TEMPERATURA 35 - 50 °C (b)

NOTAS:

- a) El nivel de regeneración se refiere al volumen total de resina, así por ejemplo en el caso de lechos mixtos debe considerarse el volumen de la resina catiónica también, aún en el caso de que solamente se desee tratar la resina aniónica.
- b) Es necesario verificar la resistencia a la temperatura indicada por el fabricante ya que existen resinas aniónicas como las del tipo II ó las acrílicas -que son mas sensibles a la temperatura que las del tipo I.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 10 y 15 cm. arriba del nivel de la resina.
- 2.- Pasar la salmuera alcalina tibia a una velocidad máxima de 4 VL/h. cuidando de mantener el nivel de fluido constante, para mejor control se recomienda mantener el registro de visita abierto durante la limpieza.

- 3.- Detener la alimentación de salmuera y su envío al drenaje cuando se han introducido dos (2) VL (S) completos de salmuera.
- 4.- Dejar " remojar " la resina con salmuera durante un período de 8 horas mínimo, agitando con aire comprimido si es posible, periódicamente durante este paso.
- 5.- Pasar el resto de salmuera a la misma velocidad que en el paso (2) y cerrar el registro de visita si es necesario.
- 6.- Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación de la salmuera, pasando 1 VL lentamente y después 2 o 4 VL (S) rápidamente.
- 7.- Efectuar una regeneración doble (al nivel acostumbrado dos veces), teniendo cuidado de efectuar un enjuague completo entre las dos regeneraciones. En el caso de lechos mixtos deberán separarse primero las resinas y después - efectuar dos regeneraciones completas con un enjuague completo entre los dos pasos, tanto para la resina catiónica como para la aniónica.

PROCEDIMIENTO No. 2

LIMPIEZA CON HIPOCLORITO DE SODIO (a)

CONCENTRACION: 1 % (como Cl libre)
VOLUMEN: 3 VL (S)
TEMPERATURA: AMBIENTE

NOTAS:

- a) Este procedimiento es un recurso extremo y solo se recomienda cuando otros procedimientos no han resultado efectivos.
- b) El Hipoclorito de Sodio es un oxidante poderoso y deben conocerse bien las precauciones de manejo antes de emplear este procedimiento, para protección de los operadores, los drenajes deben enjuagarse antes de que se descarge ácido ya que podría generarse gas cloro en las tuberías. Entre otras precauciones, se recomienda el empleo de careta, guantes, mandil de plástico, botas de plástico y ropa vieja. Referirse al proveedor de hipoclorito de sodio para mayor información.
- c) Antes de iniciar el tratamiento de limpieza con hipoclorito se debe asegurar que las resinas están completamente agotadas. Esto se puede lograr pasando un VL de solución de salmuera al 10 % de concentración, a temperatura ambiente y a 4 VL/h. En el caso de lechos mixtos, las resinas catiónicas deben estar completamente en la forma sodio, y el VL debe considerarse en base al volumen total de resinas catiónica y aniónica.
- d) El procedimiento de limpieza con hipoclorito aunque seguro para las resinas, es solamente de emergencia, se debe usar solo cuando la salmuera alcalina ha fallado y nunca se debe repetir frecuentemente, ya que existe el riesgo de causar daño permanente a los grupos funcionales de la resina.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm. arriba del nivel de la resina.
- 2.- Pasar la solución diluida de hipoclorito a una velocidad máxima de 4 VL/h, cuidando de mantener el nivel de fluido constante, para mejor control se recomienda mantener el registro de visita abierto durante la limpieza.
- 3.- Parar el paso de alimentación de solución de hipoclorito y su envío al drenaje cuando se han introducido dos (2) VL (S) completos.

- 4.- Dejar " remojar " la resina con hipoclorito durante un período de 3 horas (4 horas máximo), agitando con aire comprimido si es posible, periódicamente durante este paso.
- 5.- Pasar el resto de hipoclorito a la misma velocidad que durante el paso 2 y cerrar el registro de visita si es necesario.
- 6.- Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación del hipoclorito.
- 7.- Efectuar una regeneración doble (al nivel acostumbrado de regeneración por dos veces), teniendo cuidado de efectuar un enjuague completo entre las dos regeneraciones. En el caso de lechos mixtos deberán efectuarse las dos regeneraciones completas, haciendo un enjuague completo entre los dos pasos, tanto para la resina catiónica como para la aniónica.

PROCEDIMIENTO No. 3

LIMPIEZA CON HIDROSULFITO DE SODIO

CONCENTRACION:

Hidrosulfito de sodio (Na_2SO_3):	2 %
Poli-fosfato (por ejemplo $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) :	2 %
Volúmen :	3 VL (S)

NOTAS:

- a) Siempre agregue el hidrosulfito de sodio al agua y no al revés, prepare la solución en un área ventilada ya que durante la disolución se pueden generar olores fuertes.
- b) El hidrosulfito se descompone rápidamente por lo cual no se recomienda almacenarlo durante mucho tiempo, la solución limpiadora debe usarse inmediatamente después prepararse y no prepararse en exceso.
- c) Nunca debe emplearse hidrosulfito para limpiar resinas aniónicas, el hidrosulfito se deposita en los grupos funcionales aniónicos y puede formar polímeros que inutilizan las resinas.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm. arriba del nivel de resina.
- 2.- Pasar la solución diluida de hidrosulfito de sodio, a una velocidad máxima de 4 VL/h, cuidando de mantener el nivel de fluido constante, para mejor control se recomienda mantener el registro de visita abierto durante la limpieza.
- 3.- Parar la alimentación de hidrosulfito y su salida al drenaje una vez que se han introducido dos (2) VL (S) completos.
- 4.- Dejar " remojar " la resina con hidrosulfito durante un período de 12 horas si es posible (mínimo 4 hrs.)
- 5.- Pasar el resto del hidrosulfito a la misma velocidad que en el paso 2 y cerrar el registro de visita si es necesario.

- 6.- Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación del hidrosulfito.
- 7.- En el caso de resinas aniónicas efectuar una regeneración doble (al nivel acostumbrado de regeneración por dos veces), teniendo cuidado de efectuar un enjuague completo entre las dos regeneraciones. En el caso de lechos mixtos deberán separarse primero las resinas y después efectuarse las dos regeneraciones completas, haciendo un enjuague completo entre los dos pasos, tanto para la resina catiónica como para la aniónica.
- 8.- En el caso de resinas catiónicas en el ciclo sodio efectuar una regeneración sencilla.

PROCEDIMIENTO No. 4

LIMPIEZA CON ACIDO CLORHIDRICO (a)

CONCENTRACION:

HCL	10 %
Inhibidor de Corrosión	15 - 20 ppm (b)

NIVEL DE REGENERACION

HCL 100 %	300 g/l.
Inhibidor de corrosión	0.45 - 0.60 g/l

NOTAS:

- a) El nivel de regeneración se refiere al volumen total de resina, así por ejemplo en el caso de lechos mixtos debe considerarse el volumen de la resina catiónica también, aún en el caso de que solamente se desee tratar la resina aniónica.

En el caso de limpieza de hierro, este procedimiento es un recurso extremo y solo se recomienda cuando la limpieza con Hidrosulfito de Sodio no ha sido efectiva. ----

- b) El uso de inhibidor de corrosión es forzoso en el caso de que existan problemas de resistencia del material de construcción del equipo. La proporción del inhibidor de corrosión puede variar dependiendo del fabricante de este producto por ejemplo, en Estados Unidos se usan el Corrinil HC fabricado por Corrinil Products Inc. o el Poly Rad 0515A fabricado por Hércules Inc. la dosificación se calcula en base a la cantidad del ácido y varia para los productos mencionados de un 0.15 a un 0.2 % de la cantidad de HCL empleada. Es importante seguir las recomendaciones del Proveedor de inhibidores. No se recomienda el empleo de formaldehido como inhibidor de corrosión.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm. arriba del nivel de la resina.
- 2.- Pasar la solución de ácido a una velocidad máxima de 4 VL/h, cuidando de mantener el nivel de fluido constante, para mejor control se recomienda mantener el registro de visita abierto durante la limpieza.

- 3.- Detener la alimentación de ácido y su envío al drenaje cuando se han introducido dos (2) VL (S) completos de salmuera.
- 4.- Agitar ligeramente la resina con aire comprimido si es posible.
- 5.- Dejar " remojar " la resina con clorhídrico durante un período de doce horas si es posible (5 horas mínimo).
- 6.- Pasar el resto del ácido a la misma velocidad que en el paso (2) y cerrar el registro de visita si es necesario.
- 7.- Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación del ácido.
- 8.- Efectuar una regeneración doble (al nivel acostumbrado dos veces), teniendo cuidado de efectuar un enjuague -- completo entre las dos regeneraciones. En el caso de lechos mixtos deberán separarse primero las resinas y después efectuar dos regeneraciones completas con un enjuague completo entre los dos pasos, tanto para la resina catiónica como para la aniónica.

PRECAUCION: El ácido clorhídrico es sumamente corrosivo, se recomienda conocer y practicar las medidas de seguridad recomendadas por el fabricante de ácido.--

PROCEDIMIENTO No. 5

LIMPIEZA CON DETERGENTE (A)

CONCENTRACION

DETERGENTE NO IONICO DE BAJA ESPUMA	0.1 %
NIVEL DE TRATAMIENTO (B)	0.45 g/l
TEMPERATURA	35° - 50° (C)

NOTAS:

a) En los Estados Unidos se utiliza entre otros el Triton CF-54.

b) El nivel de tratamiento se refiere al volúmen total de resinas en la columna, por ejemplo en el caso de lechos mixtos se debe considerar también el volúmen total de las resinas catiónicas y aniónicas.

c) Es necesario verificar la resistencia a la temperatura indicada por el fabricante de resina ya que existen resinas aniónicas, especialmente las del tipo II y las acrílicas, que son bastante sensibles a la temperatura.

PROCEDIMIENTO:

1) Drenar toda el agua de la columna

2) Introducir la solución detergente, se recomienda mantener el registro de visita abierto durante el tratamiento.

3) Si es necesario, bajar el nivel de solución hasta que alcance entre 2 y 5 cm. arriba del nivel de resina.

4) Agitar ligeramente con aire comprimido, durante una hora (media hora mínimo) en forma continua.

5) Introducir agua por el fondo de la columna como en la operación de retrolavado, cuidando que no se pierda resina si se forman grumos de espuma.

6) Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación de toda la espuma.

7) Efectuar una regeneración normal y poner de nuevo en servicio.

=====

LIMPIEZA CON DISPERSANTE

CONCENTRACION (como ingrediente activo) (a)

Detergente no iónico de baja espuma	100 %
Dispersante base sal de sodio de polielectrolito carboxílico	25 %

NIVEL DE TRATAMIENTO (como ingrediente activo) (b)

Detergente	0.7 g/l
Dispersante	7.5 g/l
Temperatura	Ambiente

NOTAS:

a) En los Estados Unidos se utilizan entre otros el Triton CF-54 como detergente y el Orotán 731 como dispersante, este último se obtiene en solución al 25 %.

b) El nivel de tratamiento se refiere al volumen total de resinas en la columna, por ejemplo en el caso de lechos mixtos se debe considerar también el volumen total de las resinas catiónicas y aniónicas.

PROCEDIMIENTO

1) Drenar el agua de la columna hasta que su nivel alcance aproximadamente 3 cms. arriba del nivel de resina. Quitar el registro de visita.

2) Adicionar por el registro de visita el dispersante primero y después el detergente, agitando continuamente la resina junto con la solución, de preferencia con aire comprimido.

3) Elevar el nivel de solución alimentando agua por el fondo de la columna hasta que llegue a 50 cms. por debajo del registro de visita.

4) Colocar de nuevo la tapa del registro.

5) Mantener una agitación continua con aire comprimido durante unas 24 horas (mínimo 16 horas).

6) Al final del período de agitación, deberá efectuarse un retrolavado largo de la resina. Se debe poner especial atención a la eliminación de materia en suspensión y evitar la pérdida de resina.

7) Efectuar un enjuague y después una regeneración.

PROCEDIMIENTO NO. 7

=====

ESTERILIZACION CON PERMANGANATO DE POTASIO

=====

CONCENTRACION KMnO_3 500 ppm

NIVEL DE TRATAMIENTO (a) 1 g/l

NOTAS:

a) El nivel de tratamiento se refiere al volumen total de resina, por ejemplo en el caso de lechos mixtos debe considerarse el volumen total de resinas -- catiónicas y aniónicas.

PROCEDIMIENTO

=====

1- Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm arriba del nivel de la resina.

2- Pasar la solución de permanganato a una velocidad máxima de 2 VL/h, cuidando de mantener el nivel de solución constante.

3- Parar el paso de alimentación de solución de permanganato y su envío al drenaje cuando se han introducido dos (2) VL (s) completos.

4- Dejar " remojar " la resina con permanganato durante un periodo de 3 horas (4 horas máximo), agitando con aire comprimido si es posible, periódicamente durante este paso.

5) Pasar el resto de permanganato a la misma velocidad que durante el paso 2 y cerrar el registro de visita si es necesario.

6) Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación del permanganato.

7) Efectuar una regeneración normal.

PROCEDIMIENTO NO. 8

=====

ESTERILIZACION CON AGENTES DE CLORO LENTO (a)

=====

CONCENTRACION :	500 PPM
VOLUMEN:	2 VL (s)

NOTAS:

a) Este procedimiento a diferencia de la limpieza con hipoclorito de sodio, puede emplearse en forma repetitiva, se recomienda para estos casos un agente -- que libere el cloro lentamente, por ejemplo se puede usar entre otros el Halane-- suministrado por BASF Wyandotte en los Estados Unidos.

b) Para las resinas aniónicas, antes de iniciar el tratamiento de limpieza con agentes de cloro lento se debe asegurar que las resinas están completamente agotadas. Esto se puede lograr pasando un VL de solución de salmuera al 10 % de concentración. En el caso de lechos mixtos, las resinas catiónicas deben estar completamente en la forma sodio.

PROCEDIMIENTO

=====

1- Bajar el nivel de agua dentro de la columna hasta alcanzar una altura entre 2 y 5 cm arriba del nivel de la resina.

2- Pasar la solución de agente de cloro lento a una velocidad máxima de 2 - VL/h, cuidando de mantener el nivel de fluido constante, para mejor control se recomienda mantener el registro de visita abierto durante la limpieza.

3- Parar el paso de alimentación de solución de agente de cloro y su envío al drenaje cuando se han introducido dos (2) VL (s) completos.

4- Dejar " remojar " la resina con la solución durante un período de 3 horas (4 horas máximo), agitando con aire comprimido si es posible, periódicamente durante este paso.

5- Pasar el resto de solución a la misma velocidad que durante el paso 2 y cerrar el registro de visita si es necesario.

6- Enjuagar con agua cruda hasta la eliminación de la solución.

7- Efectuar una regeneración doble (al nivel acostumbrado de regeneración por dos veces), teniendo cuidado de efectuar un enjuague completo entre las dos regeneraciones. En el caso de lechos mixtos deberán separarse primero las resinas y después efectuarse las dos regeneraciones completas, haciendo un enjuague completo entre los dos pasos, tanto para la resina catiónica como para la aniónica.

PROCEDIMIENTO No. 10

TOMA DE MUESTRA DE RESINA

PROPOSITO: Toma de muestra para verificar sus características físico-químicas.

a) TOMA DE LA MUESTRA:

- 1.- Es deseable que la resina muestreada esté en la fase regenerada
- 2.- Abrir registro de hombre
- 3.- Drenar la unidad hasta un nivel de 5 cms. aproximadamente sobre el nivel superior de la resina.
- 4.- Si los internos son metálicos y se cuenta con refuerzos suficientes, introducir aire en flujo ascendente a un régimen de 1500 litros/minuto M2 con una presión máxima de 0.3 kg/cm², esto con el fin de homogenizar todo el lecho y no permitir bandas de acumulación de finos y poder tener tamaños de resinas promedios que sean representativos de todo el volumen de resinas en el recipiente.
- 5.- Si los internos no son metálicos o no se puede introducir aire, de berá tomarse la muestra del perfil del lecho siguiendo los métodos B y C de la norma ASTM D 2687.
- 6.- Obtener aproximadamente un litro de muestra por columna.
- 7.- Es deseable que la muestra sea enviada en recipiente de vidrio o plástico resistente.
- 8.- Cerrar la unidad y proceder a prepararla para ponerla en servicio nuevamente.

b) CASOS ESPECIALES:

- 1.- En unidades donde se tengan lechos estratificados se deberá muestrear conforme a lo indicado en los puntos anteriores, tomándose nota que tipos de resinas forman el estrato así como los volúmenes de cada una de ellas en el mismo.
- 2.- En unidades de lechos mixtos se simplifica el procedimiento de toma de muestra, pues basta con seguir la secuencia de regeneración y al terminar esta, antes de entrar de nuevo la unidad a servicio se deberá hacer el muestreo, también como en el caso de lechos estratificados se deberá tomar nota de los tipos de resinas así como sus volúmenes que conforman el Monobed.

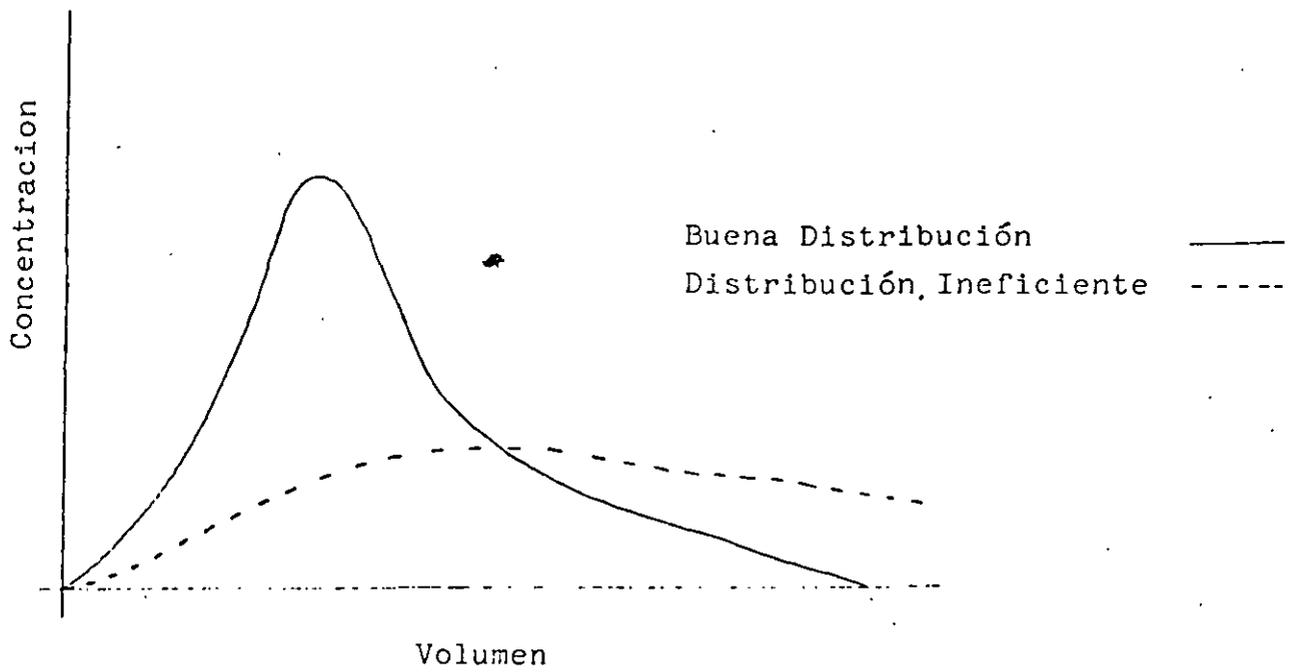


Fig 1. Curva de la Concentración de Regenerante Libre en el Eluato.

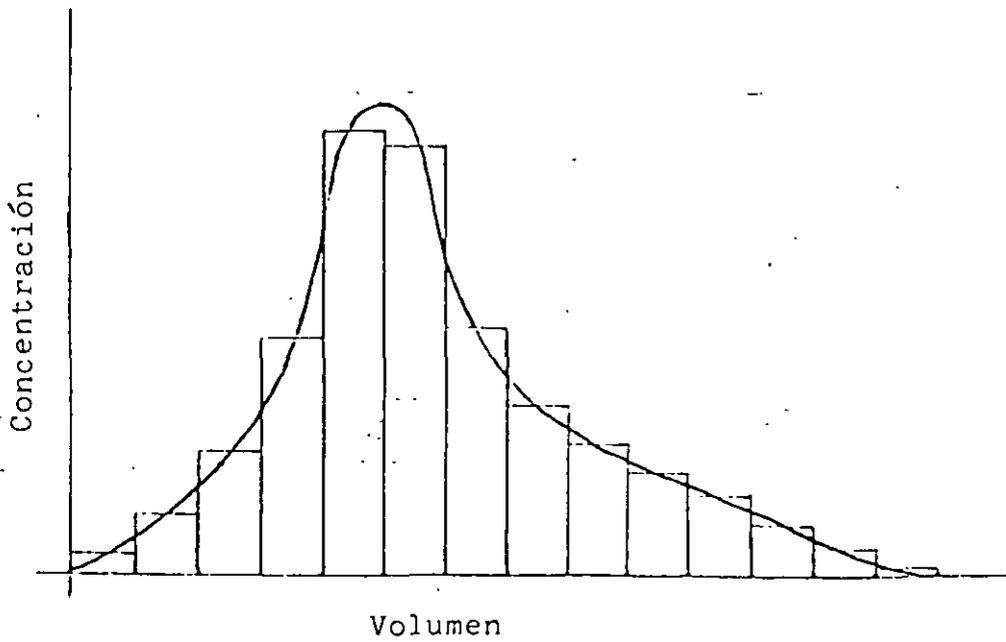


Fig 2. Determinación de la Cantidad de Regenerante Libre en el Eluato por Integración Gráfica.

B I B L I O G R A F I A

- (1) I.W.C. Paper 80-50 Drs. P. Vulliez-Sermet and Zaganianis
- (2) Treatment of Iron Fouled Resins (Rohm and Haas Technical Bulletin).
- (3) S.N.E.A. Anvar Process Technical Bulletin
- (4) Introduction to Pretreatment For Water Treatment Systems Involving Ion Exchange Techniques. V.R. Davies, Liberty Bell Corrosion Course Philadelphia 1980.
- (5) Acid Leakage from Mixed Beds. Harries and Ray Effluent and Water Treatment Journal, October 1978.
- (6) Water Purity Studies at Hinkley Point B and Oldbury on Severn P. S. M. Sadler, 1976.
- (7) Internal Technical Memoranda, Rohm and Haas 1978

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ASTM " American Society for Testing and Materials "

g gramo

g/l gramo por litro

h hora

l litro

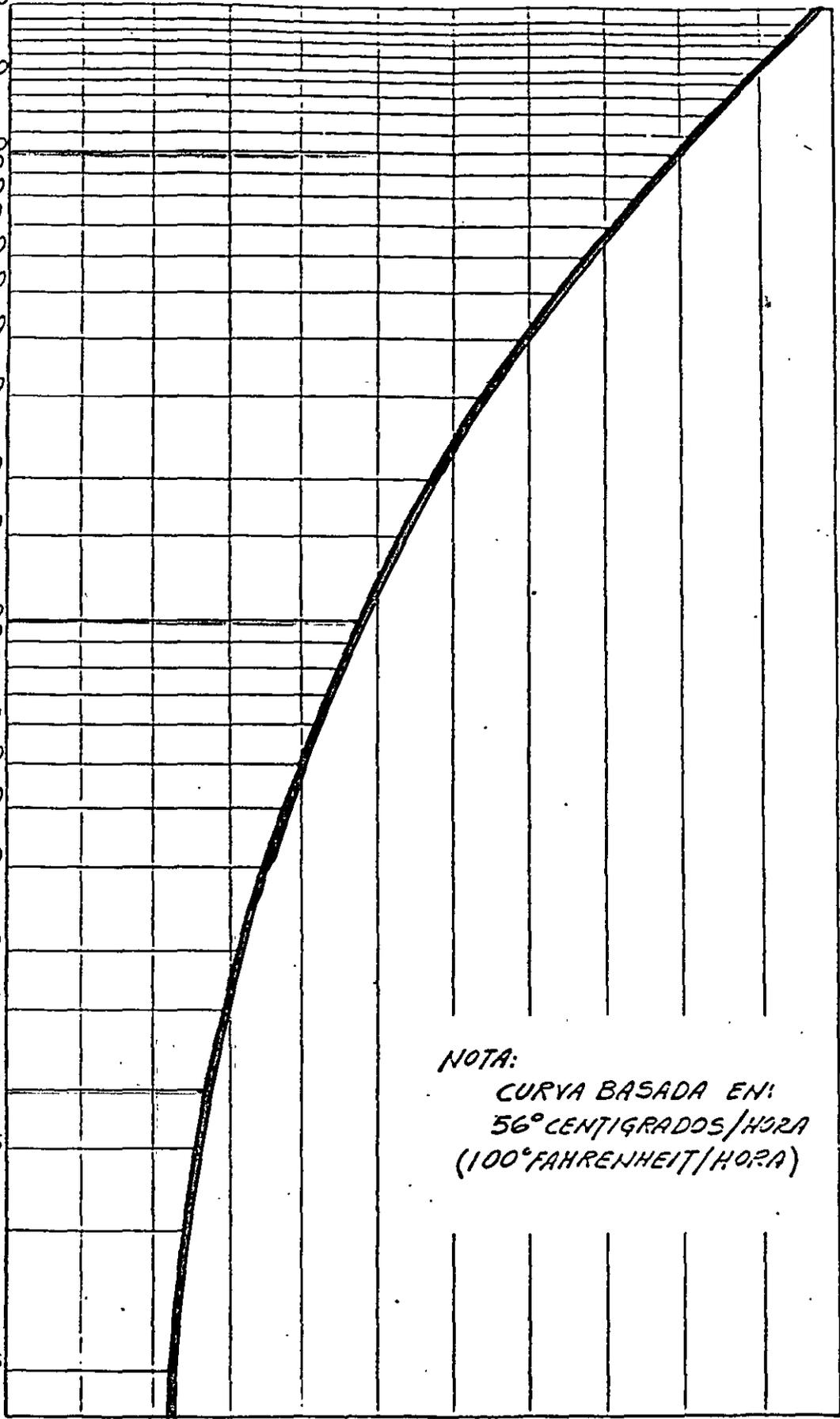
ppm partes por millón

VL Volúmen lecho, equivale a un litro de agua o solución por cada litro de resina.

TIEMPO REQUERIDO PARA SUBIR
PRESION EN CALDERAS

PRESION VAPO SATURADO

140.6	2000
1055	1500
70.3	1000
63.3	900
56.2	800
44.2	700
42.2	600
35.2	500
28.1	400
21.1	300
14.1	200
10.5	150
7.0	100
6.3	90
5.6	80
4.9	70
4.2	60
3.5	50
2.8	40
2.1	30
1.4	20
1.1	15
0.7	10
0.5	7.5
0.3	5
0.2	2.5



NOTA:
CURVA BASADA EN:
56° CENTIGRADOS/HORA
(100° FAHRENHEIT/HORA)

TIEMPO EN HORAS