

53
2e)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

MODIFICACIONES AL TRATAMIENTO
INTERNO DEL AGUA PARA
CALDERAS.



EXAMEN DE CALIFICACIONES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S
Que para obtener el título de:
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

Julián Martín Gaspar Vázquez



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

OCTUBRE DE 1993



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS

MODIFICACIONES AL TRATAMIENTO INTERNO DEL AGUA PARA CALDERAS

INDICE

	PAGINA
CAPITULO 1.- INTRODUCCION	3
CAPITULO 2.- OBJETIVOS	5
CAPITULO 3.- ANTECEDENTES	6
CAPITULO 4.- INCRUSTACION Y PROGRAMAS ANTIINCRUSTANTES	17
4.1] TRATAMIENTOS QUIMICOS PARA CALDERAS DE ALTA PRESION	18
4.1.A] CALDERAS DE BAJA PRESION	21
4.1.B] CALDERAS A ALTA PRESION	24
4.2] PROCESO DE ABLANDAMIENTO EN CALIENTE MEDIANTE PRODUCTOS QUIMICOS	26
4.2.A] TRATAMIENTO INTERNO MEDIANTE PRODUCTOS QUIMICOS	29
4.3] PRETRATAMIENTO AL AGUA DE ALIMENTACION A UNA CALDERA	41
----CLARIFICACION	41
----SUAVIZACION CON CAL EN FRIO	42
----MECANISMO DE LA FORMACION DE DEPOSITO	44
----PROGRAMAS DE PRECIPITACION	45
----PROGRAMAS DE SOLUBILIZACION	47

CAPITULO 5.- CORROSION Y SECUESTRANTES DE OXIGENO

---AGUA DE CALDERAS, CONTROL DE CORROSION	57
---TEORIA DE LA CORROSION	58
---ELIMINACION MECANICA DE GASES CORROSIVOS	65
---ELIMINACION QUIMICA DE OXIGENO	66
---SULFITO DE SODIO CONTRA HIDRAZINA	67

CAPITULO 6.- MODIFICACIONES AL TRATAMIENTO INTERNO DE CALDERAS

---CLASIFICACION EN FUNCION DE LA PRESION DE OPERACION	76
A] CASOS PARA CALDERAS DE BAJA PRESION	76
B] CASOS PARA CALDERAS DE MEDIANA PRESION	82
C] CASOS PARA CALDERAS DE ALTA PRESION	91
D] MODIFICACIONES A LOS TRATAMIENTOS INICIALES	92
---MODIFICACIONES A LAS FORMULACIONES INICIALES	109

CAPITULO 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
-----------------------------------	-----

CAPITULO 8.- BIBLIOGRAFIA.

---BIBLIOGRAFIA	121
-----------------	-----

CAPITULO 1

INTRODUCCION

EL INCREMENTO CONSTANTE EN LA DEMANDA DE ENERGIA PARA USOS INDUSTRIALES HACE DESTACAR LA IMPORTANCIA DEL VAPOR COMO UN MEDIO BASICO DE TRANSFERENCIA DE ENERGIA. POR OTRA PARTE, EL AUMENTO EN LOS PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES Y LAS CONDICIONES ECONOMICAS CAMBIANTES OBLIGAN A LAS PLANTAS A TRATAR DE INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN LA GENERACION DE VAPOR AL MAXIMO DE SUS POSIBILIDADES.

LOS DISEÑOS DE LAS CALDERAS Y EL EQUIPO AUXILIAR HAN IDO EXPERIMENTANDO MEJORAS. ES ASI COMO EL INCREMENTO EN EL USO DEL VAPOR DE ESCAPE Y EL RETORNO DE CONDENSADOS HAN SIDO ENFOQUES PARTICULARMENTE PRODUCTIVOS PARA LA CONSERVACION DE ENERGIA. PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR, TAMBIEN CONTRIBUYEN UN PRETRATAMIENTO MAS COMPLETO Y EL PULIDO DE CONDENSADOS Y DE AGUA DE ALIMENTACION, ESPECIALMENTE CUANDO SE COMPLEMENTAN CON PROGRAMAS DE TRATAMIENTO QUIMICO INTERNO.

CON EL FIN DE ALCANZAR EL NIVEL MAXIMO DE EFICIENCIA EN UN SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR, TODOS SUS COMPONENTES DEBEN DE TRABAJAR EN FORMA ADECUADA. ESTOS COMPONENTES INCLUYEN TODAS LAS FACETAS DE TRATAMIENTO, OPERACION DE LA CALDERA Y EL PROGRAMA DE TRATAMIENTO INTERNO. SI SE DESCUIDA CUALQUIERA DE ESTAS AREAS PUEDEN OCURRIR SERIOS PROBLEMAS.

LA CORROSION, LOS DEPOSITOS Y EL ARRASTRE, SON ALGUNOS DE LOS PROBLEMAS QUE RESULTAN DE LA OPERACION Y CONTROL INADECUADOS. DICHS PROBLEMAS ACARREAN CONSIDERABLES PERDIDAS ECONOMICAS PUESTO QUE REDUCEN LA EFICIENCIA DE OPERACION DE LAS CALDERAS Y DE OTROS EQUIPOS EN LA PLANTA. ESTO INCREMENTA LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO, REDUCE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION, Y CON FRECUENCIA, DA COMO RESULTADO PERDIDAS MUY IMPORTANTES POR PAROS EN LA PRODUCCION.

EL PROBLEMA ES DE TAL MAGNITUD QUE EN MEXICO SE HAN FUNDADO DESDE HACE MAS DE CINCUENTA AÑOS, LABORATORIOS, INSTITUTOS Y COMPAÑIAS QUE CONTINUAN DESARROLLANDO FORMULACIONES QUIMICAS QUE PUEDEN OFRECER LOS MEJORES BENEFICIOS AL PRECIO JUSTO ADEMAS DE BRINDAR LA ASESORIA TECNICA PARA MANTENER LIBRES DE INCRUSTACION Y CORROSION SUS CALDERAS Y DEMAS EQUIPOS Y MINIMIZAR EN LO MAS POSIBLE LOS COSTOS EN SU PRODUCCION.

AUNADO A LOS ESPECIALISTAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CALDERA, EXISTEN COMPAÑIAS EN MEXICO, CON INGENIEROS QUE ASESORAN A LOS CLIENTES EN LA CORRECTA SELECCION DE CALDERAS MAS APROPIADAS PARA SUS PROCESOS.

ES IMPORTANTE SEÑALAR QUE LAS COMPAÑIAS FUNDADAS DESDE HACE MAS DE CINCUENTA AÑOS EN MEXICO, ERAN UNA SOCIEDAD MEXICO-NORTEAMERICANA CON TECNOLOGIA ESTADOUNIDENSE Y ACTUALMENTE ALGUNAS DE ESAS COMPAÑIAS SE HAN NACIONALIZADO TOTALMENTE Y DESARROLLAN TECNOLOGIA PROPIA.

HOY EN DIA EN NUESTRO PAIS EXISTEN POCO MAS DE 200 COMPAÑIAS QUE OFRECEN SERVICIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y QUE PUDIERAN PRESENTAR UNA BUENA ALTERNATIVA A LA SOLUCION DE LOS PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL AGUA

CAPITULO 2

OBJETIVOS

LOS OBJETIVOS DE LA PRESENTE TESIS SON: DAR UN AMPLIO CRITERIO SOBRE EL TRATAMIENTO QUIMICO PARA AGUA DE CALDERAS TANTO DE BAJA COMO DE MEDIANA Y ALTA PRESION, BASADO EN LA EXPERIENCIA TENIDA EN ALGUNAS COMPAÑIAS EN LA INDUSTRIA MEXICANA. ESTA VIVENCIA EXPERIMENTAL ESTARA ENFOCADA A PROPORCIONAR UNA ORIENTACION PARA EL CORRECTO MODO DE OPERAR QUIMICAMENTE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS EN EL PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS UTILIZADAS COMO REPOSICION A LAS CALDERAS, Y PROPORCIONAR UN ARMA PARA OBTENER UN MEJOR MANTENIMIENTO PREVENTIVO QUE PERMITA ALARGAR EL TIEMPO DE VIDA DE LOS EQUIPOS, Y ADEMAS PERMITA ECONOMIZAR AL EVITAR PAROS DE ESTOS, POR LIMPIEZA INNECESARIA Y FALLAS DE TUBOS EN CALDERAS DEBIDO A INCRUSTACION O CORROSION.

TAMBIEN COMO OBJETIVO SE TIENE EL DAR UNA ORIENTACION PARA DISMINUIR LOS COSTOS DEL MISMO TRATAMIENTO QUIMICO AL REDUCIR EN LO MAS POSIBLE LAS CONCENTRACIONES DE LOS PRODUCTOS UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA PARA CALDERA, QUE PUEDA DAR RESULTADOS SATISFACTORIOS.

CAPITULO 3

ANTECEDENTES.

EVOLUCION DEL PAPEL DEL INGENIERO.

LOS PRIMEROS INGENIEROS, FUERON CIERTOS ESPECIALISTAS EN HIDRAULICA Y OBRAS PUBLICAS Y NATURALMENTE ENTRE ELLOS DEBERAN CONTARSE LOS CONSTRUCTORES DE LOS CANALES EXCAVADOS EN LA MESOPOTAMIA Y EL ANTIGUO EGIPTO Y DIFERENTES OBRAS PUBLICAS,TALES COMO TEMPLOS, PIRAMIDES, ETCETERA, LEVANTADAS EN EL ORBE DESDE LA MAS REMOTA ANTIGUEDAD.

TAMBIEN, ENTRE LOS GRIEGOS LA INGENIERIA, SE OCUPO ESPECIALMENTE DE AGRIMENSURA Y CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERIA CIVIL Y MILITAR. SE HICIERON PROGRESOS EN LA CONSTRUCCION DE GALERIAS, ACUEDUCTOS, PUENTES, ETCETERA, TECNICAMENTE PERFECTOS. LOS CONOCIMIENTOS DE MECANICA ERAN IMPERFECTOS, AUNQUE LOS ROMANOS YA CONOCIAN Y USABAN COJINETES ESFERICOS. LOS GRIEGOS COMBINARON MECANISMOS INGENIOSOS PARA ABRIR PUERTAS, MOVER BRAZOS DE LAS ESTATUAS DE LOS DIOSSES, ETCETERA.

EN EL MEDIOEVO AUMENTARON LOS CONOCIMIENTOS MECANICOS, ESPECIALMENTE APLICADOS A LA FABRICACION DE LAS ARMAS, PERO LOS RESULTADOS PRACTICOS FUERON ESCASOS Y ES FACIL ENTENDER EL PORQUE: EN PRIMER TERMINO, ESTABA EL SECRETO MILITAR, LUEGO EL SECRETO FAMILIAR, PORQUE LOS SECRETOS TECNICOS ERAN TRANSMITIDOS DE PADRE A HIJO Y PERMANECIAN SEPULTADOS EN EL AMBIENTE FAMILIAR. FINALMENTE, EL ENORME COSTO Y LA ESCASES DE MANUSCRITO SOBRE MATERIA TECNICA VOLVIA MUY LENTA LA DIFUSION DE LOS RESULTADOS PRACTICOS. LA PRIMERA COLECCION DE BOSQUEJOS DE MECANISMOS QUE SE CONOCEN SON DE UN INGENIOSO ITALIANO, EN EL AÑO DE 1250, LEONARDO DE VINCI, MAS TARDE, HIZO ESTUDIOS NOTABLES DE INGENIERIA, TRATANDO LOS PROBLEMAS TECNICOS CON LA

MENTALIDAD DE UN INGENIERO MODERNO, SIENDO EL PRIMERO EN ESTUDIAR Y AGRUPAR SISTEMÁTICAMENTE LOS RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS. EN TODOS LOS CAMPOS, OBTUVO DIRECTAMENTE UN CONJUNTO ORGANICO DE NOCIONES, SUS INVESTIGACIONES SOBRE LA DINAMICA DE LOS FLUIDOS Y LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES RESULTAN SORPRENDENTES PARA SU EPOCA.

EN EL SIGLO XVI LA TÉCNICA COMENZO A SEPARARSE DE LA CIENCIA PURA. EN EL PERIODO SIGUIENTE, DURANTE CASI DOS SIGLOS, SE EFECTUARON LENTOS AVANCES EN EL CAMPO DE LA INGENIERIA. HUBO UN CAMBIO NOTABLE EN LAS MATEMATICAS, LA FISICA Y EN LA ASTRONOMIA (GALILEO, KEPLER, NEWTON, TORRICELLI, ETC.) PERO NINGUNO DE ELLOS SE DEDICO A ESTUDIOS DE INGENIERIA PROPIAMENTE DICHOS. ESPECIALMENTE DURANTE EL SIGLO XVII, LOS TÉCNICOS EFECTUARON CALCULOS Y BUSQUEDAS USANDO CON AMPLITUD LAS MATEMATICAS DE APROXIMACION.

LA PRIMERA ESCUELA DE INGENIERIA FUE ABIERTA EN PARIS EN 1747, SIENDO ESTA LA FAMOSA " ESCUELA DE PUENTES Y CAMINOS ". EL AÑO SIGUIENTE, EN MÉCIEREZ, TAMBIÉN EN FRANCIA, SE ABRIÓ LA "ESCUELA DE LOS INGENIEROS".

LA REVOLUCION FRANCESA, CON EL PODEROSO IMPULSO QUE LE DIO A LOS ESTUDIOS Y A LA CULTURA, LLEGO A LA CREACION DE EL PRIMER POLITÉCNICO (PARIS 1794-1795) Y DE VARIAS ESCUELAS DE APLICACION DESPUES DE LAS MENCIONADAS, APARECIERON DOS FAMOSAS ESCUELAS DE INGENIERIA " ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE PRAGA " EN 1806 Y UNA ESCUELA SIMILAR EN 1815. ASI COMENZABA EL GLORIOSO PERIODO DE LA INGENIERIA, EL SIGLO EN QUE FUERON CONSTRUIDAS GRANDIOSAS OBRAS TÉCNICAS Y DURANTE EL CUAL LOS ESTUDIOS SE FUERON HACIENDO PAULATINAMENTE MAS PROFUNDOS, OBTENIENDOSE RESULTADOS MAS NOTORIOS, COMO FUE LA INVENCION DE LA MAQUINA DE VAPOR DE JAMES WATT EN 1768 Y ESTO INICIA UNA NUEVA ETAPA EN LA HISTORIA MUNDIAL: LA ERA INDUSTRIAL.

HACIA 1790, YA SE HABIAN SUBSTITUIDO POR LA FUERZA DEL VAPOR LA CAPACIDAD DE TRABAJO DE UNOS TRES MILLONES DE HOMBRES. EN 1810, STEPHENSON CONTRUYO LA PRIMERA LOCOMOTORA, EN 1825 CIRCULO EL PRIMER FERROCARRIL Y EN 1886 GOTTLIEB DARMER CONTRUYO EL PRIMER AUTOMOVIL CON MOTOR DE EXPLOSION.

DE ACUERDO A ESTO, PODEMOS DECIR QUE LA UTILIZACION DEL VAPOR, SE PUEDE CONSIDERAR COMO CAUSANTE DIRECTO DE LA ERA INDUSTRIAL Y DE AQUI LA IMPORTANCIA QUE HA TENIDO, TIENE Y SEGUIRA TENIENDO LA GENERACION DE VAPOR EN LOS AMBITOS INDUSTRIALES.

EL AGUA.

EL AGUA ES UNA COMBINACION SIMPLE DE HIDROGENO Y OXIGENO, SU FORMULA COMUN ES H_2O , (VER FIG.3 A). COMO INFORMACION DE INTERES GENERAL, PODEMOS DECIR QUE EXISTEN OTRAS FORMAS HIBRIDAS DE EL AGUA, QUE SE ENCUENTRAN PRESENTES EN SUS ABASTECIMIENTOS. EL AGUA CONTIENE CERCA DE 300 PPM DE DEUTERIO (D_2O) O AGUA PESADA. ESTA FORMA NO QUITA LA SED O HACE QUE CRESCAN LAS PLANTAS, PERO EN SU FORMA PURA HA ENCONTRADO APLICACION COMO MODERADOR EN LOS REACTORES NUCLEARES.

PARA TODOS LOS EFECTOS PRACTICOS, SE CONSIDERA QUE EL AGUA ORDINARIA H_2O , ES LA QUE SE UTILIZA PARA LA GENERACION DE VAPOR EN CALDERAS. EL AGUA ES LA UNICA SUSTANCIA COMUN QUE EN LAS CONDICIONES NORMALES DE PRESION Y TEMPERATURA AMBIENTES, SE ENCUENTRA EN TRES FORMAS: HIELO, AGUA Y VAPOR. PARA UNA EVALUACION A TEMPERATURA DETERMINADA, ABSORBE MAS CALOR QUE CUALQUIER OTRA SUSTANCIA INORGANICA COMUN. EL VAPOR ES CAPAZ DE TRANSPORTAR UNA GRAN CANTIDAD DE CALOR, ESTAS PROPIEDADES EXCEPCIONALES DE EL AGUA LA HACEN UNA MATERIA PRIMA IDEAL PARA LOS PROCESOS DE CALENTAMIENTO Y DE GENERACION DE FUERZA. SU TREMENDA CAPACIDAD PARA ABSORBER Y ALMACENAR CALOR LA HACEN IDEAL PARA LOS PROCESOS DE ENFRIAMIENTO INDUSTRIAL. TIENE UN CALOR ESPECIFICO DE UNO (1.0), ES DECIR, 33 VECES EL CALOR ESPECIFICO DEL PLOMO Y DIEZ VECES EL CALOR ESPECIFICO DEL HIERRO. POR EJEMPLO, SI AGREGARAMOS UN BTU A UNA

LIBRA DE AGUA, ELEVARIAMOS LA TEMPERATURA UN GRADO FARENHEIT Y LA TEMPERATURA DE UNA LIBRA DE PLOMO AUMENTARIA 33 GRADOS FARENHEIT (18.3 GRADOS CENTIGRADOS) CON LA MISMA CANTIDAD DE CALOR.

EL AGUA TIENE UN CALOR DE FUSION DE 144 BTU; UNA LIBRA CEDE ESTA CANTIDAD DE CALOR CUANDO SE CONGELA. EL HIELO ABSORBE LA MISMA CANTIDAD CUANDO SE FUNDE. EL CALOR DE VAPORIZACION DE EL AGUA ES DE 970 BTU; ESTA CANTIDAD DE CALOR TRANSFORMA UNA LIBRA DE AGUA A LA TEMPERATURA DE EBULLICION EN VAPOR. EL VAPOR CARGADO DE CALOR, PUEDE ENTONCES PRODUCIR TRABAJO MECANICO UTIL POR EXPANSION YA SEA EN UNA TURBINA O EN UNA MAQUINA.

AL CONGELARSE, EL AGUA AUMENTA APROXIMADAMENTE UN NOVENO DE SU VOLUMEN. SU DENSIDAD MAXIMA SE DESARROLLA A CUARENTA GRADOS FARENHEIT (4.4 GRADOS CENTIGRADOS). POR ESTA PROPIEDAD, EL AGUA HA BARRENADO LAS ROCAS, CONVIRTIENDOLAS EN TIERRA LABORABLE. EL AGUA CONGELADA PARTE LA ROCA, FORMANDO ARENA Y BARRO QUE ES DISTRIBUIDO POR EL AGUA CORRIENTE.

A LA PRESION ATMOSFÉRICA NORMAL, EL AGUA SE CONGELA A TREINTA Y DOS GRADOS FARENHEIT (0 GRADOS CENTIGRADOS) Y HIERVE A 212 GRADOS FARENHEIT (100 GRADOS CENTIGRADOS). CON UN AUMENTO O DISMINUCION DE LA PRESION, EL AGUA HERVIRA DENTRO DE LOS LIMITES DE TEMPERATURA DE TRES A 704 GRADOS FARENHEIT. (1.7 A 273.5 GRADOS CENTIGRADOS). CUANDO EL AGUA SE EVAPORA A UNA PRESION ATMOSFERICA NORMAL, SU VOLUMEN AUMENTA 1600 VECES. CUANDO LA PRESION AUMENTA 3200 LIBRAS/PULGADA (225 KG/CM²) (LA PRESION CRITICA), EL AGUA SE CONVIERTE DIRECTAMENTE EN VAPOR SIN CAMBIAR DE VOLUMEN. BAJO ESTAS CONDICIONES, ES NECESARIO UNA TEMPERATURA DE 704 GRADOS FARENHEIT (373.5 GRADOS CENTIGRADOS) PARA HERVIR EL AGUA.

EN FORMA PREFERENTE, EL AGUA ABSORBE LOS RAYOS LUMINOSOS EN LA REGION INFRARROJA DEL ESPECTRO. (LOS RAYOS CON UNA LONGITUD DE 31 MICRONES APROXIMADAMENTE). EL AGUA

REFLEJA ESTOS RAYOS DE CORTA LONGITUD EN LA REGION AZUL-VERDE; ESTO EXPLICA EL COLOR CARACTERISTICO AZUL-VERDE DE EL AGUA.

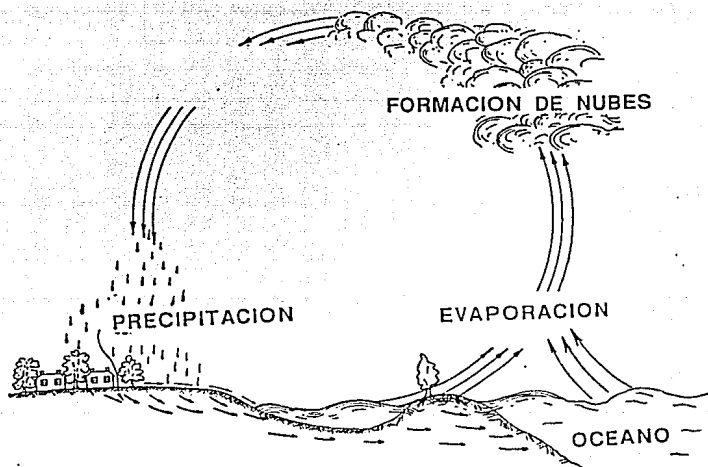
LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA NATURAL COMPLETAMENTE PURA, SON PRACTICAMENTE INEXISTENTES. TODAS LAS AGUAS NATURALES CONTIENEN DIVERSOS TIPOS Y CANTIDADES DE SUBSTANCIAS EN DISOLUCION Y/O SUSPENSION. ESTAS VARIAN CON EL ORIGEN DE EL ABASTECIMIENTO Y LA LOCALIZACION GEOGRAFICA. ES PARADOJICO QUE CONTANDO CON TRES CUARTAS PARTES DE LA SUPERFICIE TERRESTRE CUBIERTAS POR AGUA, EXISTA PREOCUPACION POR LA ESCASES DE LA MISMA. LA RAZON ES QUE LA MAYOR PARTE DE ELLA ES AGUA DE MAR, LA CUAL CONTIENE UNA GRAN CANTIDAD DE MINERALES DISUELTOS, LO QUE HACE QUE SEA INADECUADA SU UTILIZACION, EXCEPTO EN ALGUNAS APLICACIONES DE ENFRIAMIENTO. POR CADA MIL GALONES (3,785 LITROS) EL AGUA DE MAR CONTIENE APROXIMADAMENTE 300 LIBRAS (136 KG) DE MINERALES DISUELTOS (CERCA DE 35,000 PPM). EN CONTRASTE, EL CONTENIDO DE MINERALES DISUELTOS DE EL AGUA FRESCA PROVENIENTE DE RIOS, LAGOS, ETCETERA, VARIA DESDE MEDIA LIBRA HASTA DIEZ LIBRAS POR CADA MIL GALONES (DE 227 GRAMOS HASTA 4.54 KG POR CADA 3,785 LITROS) (DE 60 PPM A 1,200 PPM) APROXIMADAMENTE. POR LO TANTO PRACTICAMENTE TODA EL AGUA UTILIZADA POR LA INDUSTRIA SE TOMA DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA FRESCA. COMO SE SABE, ULTIMAMENTE SE HAN COMPLETADO INVESTIGACIONES PARA LA PURIFICACION DE EL AGUA DE MAR (POR DESTILACION DE EL AGUA DE MAR EN EVAPORADORES DE MULTIPLE EFECTO O POR OSMOSIS INVERSA). SE ENCUENTRAN ACTUALMENTE EN OPERACION EN AREAS EN DONDE EXISTE UNA GRAN ESCASES DE AGUA FRESCA.

CICLO HIDROLOGICO DEL AGUA:

EL CICLO DEL AGUA O MAS CORRECTAMENTE EL CICLO HIDROLOGICO, CONSISTE PRINCIPALMENTE EN UNA RECIRCULACION SIN FIN DEL AGUA DE LOS OCEANOS HASTA EL AIRE QUE NOS RODEA, HACIA EL SUELO, HACIA LOS RIOS, Y FINALMENTE UN RETORNO AL OCEANO A TRAVES DE LA PRECIPITACION. ASIMISMO, OTRA PARTE IMPORTANTE ES EVAPORADA EN LOS CONTINENTES POR LAS TIERRAS HUMEDECIDAS POR LAS LLUVIAS, LAS SUPERFICIES DE LAGOS Y RIOS, Y TAMBIEN POR LA TRANSPIRACION DE LA BIOMASA.

LA FIGURA 3 B ILUSTR A EL CICLO HIDROLOGICO:

FIG. 3 B CICLO HIDROLOGICO DEL AGUA



EL AGUA EN SU FORMA PURA ES INODORA, INCOLORA E INSABORA. HISTORICAMENTE EL AGUA HA SIDO LLAMADA EL DISOLVENTE UNIVERSAL. DEBIDO A ESTA PROPIEDAD, EL AGUA PUEDE ARRASTRAR, HASTA CIERTO GRADO, CASI CUALQUIER SUBSTANCIA CON LA CUAL ENTRA EN CONTACTO. ESTAS SUBSTANCIAS VAN A ORIGINAR UNA DIVERSIDAD DE PROBLEMAS EN LOS SISTEMAS DE AGUA DE CALDERA.

EL AGUA CAE EN FORMA DE LLUVIA Y NIEVE SOBRE LA TIERRA. PUEDE SER USADA DE 10 A 15 VECES ANTES DE QUE LLEGUE AL MAR. LOS PRODUCTOS DE DESHECHO AGREGADOS POR EL HOMBRE, Y LA DISOLUCION DE MINERALES CUANDO EL AGUA VA FLUYENDO SOBRE Y A TRAVES DEL SUELO LA CONTAMINAN, LIMITANDO A VECES SU UTILIDAD. CUANDO EL AGUA SE EVAPORA DE LOS MARES, RIOS Y LAGOS SUS IMPUREZAS SE VAN CONCENTRANDO. HAY MUCHOS MATERIALES DE ORIGEN HUMANO O NATURAL QUE LA CONTAMINAN ANTES DE QUE SE CONDENSE DE NUEVO Y SE PRECIPITE A LA TIERRA EN FORMA DE LLUVIA. ESTE FENOMENO SE HA VISTO AGRAVADO PROFUNDAMENTE EN LAS GRANDES CONCENTRACIONES HUMANAS E INDUSTRIALES.

QUIMICA BASICA DEL AGUA: PARTES POR MILLON (P.P.M.) Y MILIGRAMOS POR LITRO (MG/L)

COMO SE HA DICHO, EL AGUA QUE SE USA PARA LA INDUSTRIA NUNCA ES AGUA PURA, SINO QUE CONTIENE SIEMPRE IMPUREZAS EN DIFERENTES CONCENTRACIONES. PARTES POR MILLON (P.P.M.) ES UNA EXPRESION QUE SIRVE PARA EXPRESAR LA CONCENTRACION DE IMPUREZAS EN EL AGUA.

UNA P.P.M. ES UNA CANTIDAD MUY PEQUEÑA QUE REPRESENTA UNA PARTE EN UN MILLON DE PARTES. POR EJEMPLO: UN GALON EN UN MILLON DE GALONES O UNA LIBRA EN UN MILLON DE LIBRAS.

NO IMPORTA QUE UNIDADES SE USEN SIEMPRE Y CUANDO LA RELACION ENTRE LAS SUBSTANCIAS SEA LA MISMA.

MILIGRAMOS POR LITRO ES UN TERMINO QUE TAMBIEN SE USA PARA REPRESENTAR CONCENTRACIONES.

SUAVIZACION.

ALREDEDOR DE 1900 EXISTIAN NUMEROSOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS PARA CALENTAR Y PURIFICAR AGUA PARA ALIMENTACION DE CALDERAS. SE TENIAN UNA VARIEDAD DE RECIPIENTES Y TANQUES COMPLICADOS EN LOS QUE SE PRODUCIAN LODOS POR ABLANDAMIENTO TERMICO AL SER CALENTADA EL AGUA ANTES DE SUMINISTRARLA A LAS CALDERAS. EL SIGUIENTE PASO FUE LA ADICION DE CARBONATO DE SODIO A UN CALENTADOR ABIERTO, DE GRAN TAMAÑO, USADO PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS DE ALIMENTACION, MANTENIENDO EN ESTA FORMA LOS PRODUCTOS DEL ABLANDAMIENTO FUERA DE LA CALDERA. SIN EMBARGO, USUALMENTE PERMANECIA UNA CANTIDAD CONSIDERABLE DE DUREZA DE BICARBONATOS SIN SER CONVERTIDA POR EL CALENTAMIENTO.

APROXIMADAMENTE EN 1910, SE ADOPTO LA PRACTICA DE ALIMENTAR LECHADA DE CAL JUNTO CON EL CARBONATO DE SODIO. EL PROCESO DE ABLANDAMIENTO EN FRIO SE ENCONTRABA ENTONCES EN FASE DE DESARROLLO PARA VARIOS USOS, Y EL CONOCIMIENTO DE QUE ERA MENOR LA SOLUBILIDAD Y LA SEPARACION ERA A ALTA TEMPERATURA, CONDUIERON A MEJORAR LOS EQUIPOS DE TRATAMIENTO POR EL PROCESO EN CALENTE. PARA PERMITIR UNA MEJOR REMOCION DE LOS LODOS, SE DOTO AL TANQUE DE TRATAMIENTO CON UN FONDO CONICO, UN ASCENSO CENTRAL Y EL CALENTADOR ABIERTO SE INSTALO EN LA PARTE SUPERIOR.

EN ESTA FORMA, LOS ABLANDADORES DE LA SEGUNDA DECADA DEL SIGLO FUERON APARENTEMENTE SIMILARES EN FORMA A LOS DISEÑOS ACTUALES, AUN CUANDO SE HAN INCORPORADO MUCHAS MEJORAS Y SE HAN ADICIONADO NUEVOS PROCESOS.

IMPUREZAS DEL AGUA DE CALDERA:

HEMOS VISTO QUE EN SU RECORRIDO A TRAVES DEL CICLO HIDROLOGICO, EL AGUA RECOGE IMPUREZAS QUE REFLEJAN LA COMPOSICION DE LA ATMOSFERA Y SUPERFICIES CON LAS CUALES VA TENIENDO CONTACTO ANTES DE LLEGAR AL SUELO, EL AGUA DE LLUVIA PUEDE DISOLVER GASES Y ABSORBER MATERIALES SOLUBLES E INSOLUBLES CONTENIDOS. EN LA ATMOSFERA. ESTA AGUA PUEDE CONTENER DISUELTO DIOXIDO DE CARBONO Y SATURARSE CON OXIGENO. ADEMAS PUEDE CONTAMINARSE CON GASES INDUSTRIALES COMO DIOXIDO DE AZUFRE Y OXIDOS DE NITROGENO. EL AGUA DE LLUVIA PUEDE CONTENER TAMBIEN MATERIA ORGANICA, TANTO POR CONTAMINACION ATMOSFERICA DE ORIGEN INDUSTRIAL COMO POR LA QUE SE DESPRENDE DE LA VEGETACION. ADEMAS, COMO YA SE HA EXPRESADO, EXISTEN MUCHOS COMPUESTOS COMUNES EN LA CORTEZA TERRESTRE QUE SON DISUELTOS POR EL AGUA QUE FLUYE O SE FILTRA A TRAVES DE ELLA.

LAS IMPUREZAS DEL AGUA QUE SE VAN A TRATAR EN EL SIGUIENTE CAPITULO PUEDEN ACARREAR PROBLEMAS SERIOS EN LA OPERACION DE LAS CALDERAS DANDO ORIGEN A LA FORMACION DE DEPOSITOS, CORROSION DE METALES O GENERACION DE ESPUMA.

CAPITULO 4

INCRUSTACION Y PROGRAMAS ANTI-INCRUSTANTES

AGUA DE CALDERA: CONTROL DE DEPOSITOS.

EL PRINCIPAL PROBLEMA EN LA OPERACION DEL EQUIPO DE GENERACION DE VAPOR SON LOS DEPOSITOS QUE CONSISTEN EN LA ACUMULACION DE MATERIALES EN LAS SUPERFICIES DE LOS TUBOS, PROVOCANDO PROBLEMAS DE CIRCULACION Y SOBRECALENTAMIENTO.

LOS SISTEMAS DE PRETRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACION A LAS CALDERAS ESTAN DISEÑADOS PARA REMOVER MUCHAS DE LAS IMPUREZAS DEL AGUA; SIN EMBARGO, NO SE ELIMINAN TODAS Y ALGUNAS LLEGAN HASTA ELLAS. ES NECESARIO EL TRATAMIENTO INTERNO DE LA CALDERA PARA EVITAR QUE ESTAS IMPUREZAS SE DEPOSITEN EN LAS SUPERFICIES DE LOS TUBOS, PROVOCANDO POSIBLEMENTE FALLAS.

ESTE CAPITULO EXAMINARA DIFERENTES TIPOS DE DEPOSITOS, COMO SE FORMAN, Y ALGUNOS DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL DE TRATAMIENTOS DE AGUA DE CALDERAS PARA PREVENIR LOS DEPOSITOS.

AGUA DE CALDERA, CONTROL DE DEPOSITOS: INCRUSTACION V.S. LODOS.

LOS DEPOSITOS DE LA CALDERA PUEDEN CLASIFICARSE EN DOS GRANDES CATEGORIAS:

INCRUSTACION Y LODO:

LA INCRUSTACION ES UN DEPOSITO DE CALDERA RELATIVAMENTE DURO Y ADHERENTE.

EL LODO ES MAS SUAVE Y MENOS ADHERENTE A LAS SUPERFICIES INTERNAS DE LA CALDERA.

LA ACUMULACION DE INCRUSTACION EN LA CALDERA ESTA CONSTITUIDA POR EL CRECIMIENTO DE CRISTALES EN LA SUPERFICIE DEL TUBO Y ES MAS SEVERA EN AQUELLA AREA EN DONDE OCURRE LA MAXIMA TRANSFERENCIA DE CALOR. LA INCRUSTACION SE ASOCIA USUALMENTE CON LOS COMPUESTOS CUYAS SOLUBILIDADES DECRECEN CON EL AUMENTO DE TEMPERATURA, POR EJEMPLO EL CARBONATO DE CALCIO.

LOS LODOS SE PRECIPITAN DIRECTAMENTE EN EL AGUA DE LA CALDERA CUANDO SE EXCEDEN SUS SOLUBILIDADES. TIENEN LA TENDENCIA A SEDIMENTARSE O A QUEMARSE EN LAS SUPERFICIES DE LOS TUBOS. LA ACUMULACION DE LODOS OCURRE USUALMENTE CUANDO ESTAN PRESENTES SUBSTANCIAS AGLUTINANTES (COMO FIERRO, COBRE Y ACEITES) Y CUANDO LA CIRCULACION DEL AGUA ES TAN LENTA QUE PERMITE LA SEDIMENTACION. ALGUNOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO QUIMICO PROMUEVEN LA FORMACION DE LODOS LOS CUALES SE REMUEVEN DEL SISTEMA POR MEDIO DE PURGAS. PARA ASEGURARSE QUE ESTE TIPO DE PROGRAMAS TRABAJA EFECTIVAMENTE, ES ESCENCIAL UNA PURGA ADECUADA PARA ELIMINAR LOS LODOS DEL SISTEMA.

4.1.- TRATAMIENTOS QUIMICOS PARA CALDERAS DE ALTA PRESION

LA ENORME EXPANSION INDUSTRIAL TANTO EN VOLUMEN COMO EN VARIEDAD DE PROCESOS QUE HA TENIDO LUGAR EN LAS ULTIMAS DECADAS, HA IMPUESTO LA NECESIDAD DE ESTABLECER TAMBIEN UNA AMPLIA VARIEDAD EN LAS ESPECIFICACIONES DE LA CALIDAD DE AGUA NECESARIA PARA LOS DIFERENTES USOS. CON EL OBJETO DE SATISFACER ESTOS REQUERIMIENTOS, SE HAN DESARROLLADO MUCHOS METODOS ALTAMENTE PERFECCIONADOS DE TRATAMIENTO.

MUCHOS DE LOS TRATAMIENTOS QUE GOZAN DE MAS EXTENSA APLICACION ENTRAÑAN SIMPLEMENTE CLARIFICACION, FILTRACION Y ABLANDAMIENTO. OTROS SIN EMBARGO, EXIGEN AGUA DE PUREZA MAXIMA, REQUIRIENDOSE ENTONCES SISTEMAS COMPLEJOS DE TRATAMIENTO POR LOS QUE PUEDE EFECTUARSE UNA ELIMINACION PRACTICAMENTE COMPLETA DE TODOS LOS COMPUESTOS SOLUBLES, INSOLUBLES Y GASEOSOS.

AUN CUANDO LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO ANTERIORMENTE MENCIONADOS Y DESCRITOS, SUELEN SER SUFICIENTES PARA MUCHOS CASOS, SE HA TENIDO UNA ESPECIAL ATENCION EN EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA ALIMENTACION A CALDERAS DE ALTA PRESION (ARRIBA DE 600 lb/in²) LO ANTERIOR OBEDECE A QUE HAY QUE CONSIDERAR ALGUNOS PARAMETROS COMO PRESIONES DE OPERACION, ASI COMO LA UTILIZACION DE EQUIPOS MAS SOFISTICADOS NECESARIOS EN ESTE TIPO DE CALDERAS, Y ADEMAS CONSIDERACIONES ACERCA DE LA CONSTRUCCION ACTUAL DE LOS GENERADORES DE VAPOR. DURANTE MUCHO TIEMPO SE PLANTEO EL PROBLEMA DE LA PURIFICACION EXTERNA DEL AGUA PARA ALIMENTACION CONTRA EL TRATAMIENTO INTERNO. ESTO HA SIDO CAUSA DE MUCHAS CONTROVERSIAS EN EL PASADO. ACTUALMENTE COMPETENTES ESPECIALISTAS EN AMBOS TIPOS DE TRATAMIENTO, CONVIENEN EN QUE UNO DEBE SER COMPLEMENTO DEL OTRO. SE ACEPTA GENERALMENTE QUE LA PURIFICACION EXTERNA DEBERA SER TAN COMPLETA COMO LO JUSTIFIQUEN LAS CONDICIONES DE OPERACION DE LAS CALDERAS Y LOS FACTORES ECONOMICOS QUE ELLOS IMPLICAN.

INDEPENDIEMENTE DE LA PUREZA DEL AGUA PARA ALIMENTACION QUE PROPORCIONA LA PURIFICACION EXTERNA, LOS TRATAMIENTOS PROTECTORES O INTERNOS, SE EMPLEAN CASI UNIVERSALMENTE COMO UNA SEGURIDAD CONTRA INCRUSTACIONES, CORROSION Y OTRAS FUENTES POTENCIALES DE DIFICULTADES. DE ACUERDO A LAS LITERATURAS AMERICANAS, EXISTEN MUCHOS CASOS EN LOS QUE UNA INVERSION EN EQUIPO EXTERNO DE ABLANDAMIENTO NO SE JUSTIFICA POR: 1) TAMAÑO REDUCIDO DE LA PLANTA, 2) PRESION MODERADA, 3) BUEN ABASTECIMIENTO DE AGUA Y 4) UNA COMBINACION DE ESTOS FACTORES; EN TALES CASOS AL RECURRIR SOLAMENTE AL TRATAMIENTO INTERNO PODRIA PRODUCIR RESULTADOS DE OPERACION ENTERAMENTE ACEPTABLES.

EN EL CASO DE LAS AGUAS MEXICANAS, EN DONDE SE TIENEN VALORES ALTOS O MODERADOS DE SOLIDOS DISUELTOS, ES INDISPENSABLE CUANDO MENOS DAR UNA SUAVIZACION TOTAL AL AGUA ANTES DE ALIMENTARLA A LA CALDERA, PARA ELIMINAR LOS PROBLEMAS MAS

POTENCIALES DE LA INCRUSTACION EN LOS SISTEMAS DE GENERACION DE VAPOR DE BAJA Y MEDIANA PRESION (HASTA 600 lb/in²).

EL TIPO Y CALIDAD DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS USADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA ALIMENTACION E INTERNO PARA CALDERAS DEBERAN SER DETERMINADOS POR UN ESTUDIO CUIDADOSO.

LOS REQUISITOS QUIMICOS INORGANICOS ESTAN CLARAMENTE DETERMINADOS, POR EJEMPLO: CUALQUIER NECESIDAD DE PREVENCIÓN DE INCRUSTACIONES, AJUSTE DE ALCALINIDAD O DE AIREACION QUIMICA SON REVELADOS POR UN ESTUDIO DEL ANALISIS DEL AGUA, ASI COMO DEL VAPOR Y DEL CICLO DEL AGUA. MAS AUN ES CONFIRMADA POR LAS INSPECCIONES DE LA CALDERA. OTROS PUNTOS QUE REQUIEREN CONSIDERACION SON EL TIPO DE FOSFATO QUE SE USA, EL CONTROL DEL EQUILIBRIO DE AGUA PARA CALDERAS REQUERIDO PARA PRODUCIR EL TIPO DE LODOS DESEADO, EL NIVEL OPTIMO DE ALCALINIDAD, ETCETERA.

EN CONTRASTE, LOS PROCEDIMIENTOS ORGANICOS DE TRATAMIENTO DE AGUA DEBE JUZGARSE A BASE DEL COMPORTAMIENTO, FRECUENTEMENTE POR TANTEOS. EN GENERAL ES PREFERIBLE CONSIDERAR QUE CUALQUIER MATERIAL DE TRATAMIENTO DE COMPOSICION Y REACCION INDEFINIDAS, ES DE VALOR DUDOSO HASTA SER PROBADO PRACTICAMENTE EN LA PLANTA. LA COMPARACION DE LA LIMPIEZA DE LA CALDERA, LA CALIDAD DEL VAPOR Y OTRAS CONDICIONES ANTES Y DESPUES DE USAR UN PRODUCTO QUIMICO CONSTITUYEN EL MEJOR CRITERIO.

COMO LA MAYORIA DE LOS COMPUESTOS ORGANICOS PARA TRATAMIENTO DE AGUA SON DE COMPOSICION Y REACCION INDEFINIDAS Y NO ESTAN SUJETOS A CALCULOS QUIMICOS EXACTOS, LA EVIDENCIA EN SU FAVOR CONSISTE DE DATOS DE LABORATORIO Y DE LA EXPERIENCIA DE NUMEROSOS USUARIOS.

ADEMAS DEL USO DE PRODUCTOS QUIMICOS ORGANICOS E INORGANICOS, SE EMPLEAN VARIAS COMBINACIONES DE MATERIALES EN FORMA DE COMPUESTOS PARA CALDERAS. TALES PRODUCTOS PUEDEN ENCONTRARSE COMBINADOS COMO BOLAS SOLUBLES, LIQUIDOS CONCENTRADOS O POLVOS.

EL COSTO DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS COMBINADOS ES USUALMENTE MAS ALTO CUANDO SE COMPRAN COMO COMPUESTOS PARA CALDERAS QUE CUANDO SE ADQUIEREN LIBREMENTE EN EL MERCADO

4.1 a - CALDERAS DE BAJA PRESION

CALDERAS DE ACERO CON TUBOS DE HUMO

LAS CALDERAS DE TUBOS DE HUMO (FIG. 4 A) SE USAN PRINCIPALMENTE PARA SISTEMAS DE CALEFACCION, PARA LA PRODUCCION DE VAPOR REQUERIDO EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES O COMO CALDERAS PORTATILES. SE CONSTRUYEN EN TAMAÑOS HASTA DE UNOS 6800 Kg. [15000 Lb] DE VAPOR POR HORA [CONSIDERANDO UN RENDIMIENTO NOMINAL DEL 100 %]. LA CALDERA DE BAJA PRESION ESTA LIMITADA A 1.05 Kg/cm²-g [151lb/in²-g] DE PRESION DE VAPOR, [2.11 Kg/cm²-g EN AGUA CALIENTE 30 lb/in²-g]] Y LA CALDERA DE VAPOR PARA GENERACION DE FUERZA, PUEDE OPERAR A UNA PRESION DE UNOS 17.6 Kg/cm²-g [250 lb/in²-g].

LA CALDERA DE TUBOS DE HUMO SE USA GENERALMENTE EN DONDE LA DEMANDA DE VAPOR ES RELATIVAMENTE REDUCIDA [COMPARADA CON LA DEMANDA DE VAPOR DE LAS GRANDES CENTRALES TERMoeLECTRICAS]. NO SE UTILIZA PARA EL ACCIONAMIENTO DE TURBINAS, PORQUE NO ES CONVENIENTEMENTE ADAPTABLE A LA INSTALACION DE SOBREALENTADORES.

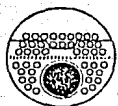
LA CALDERA DE TUBOS DE HUMO TIENE LIMITACIONES EN CUANTO A SU TAMAÑO Y EN LA ADAPTABILIDAD DE SU DISEÑO. TIENE, SIN EMBARGO, LA VENTAJA DE SU GRAN VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE AGUA, ADEMÁS DE SU PECULIARIDAD DE COMPENSAR LOS EFECTOS DE LAS GRANDES Y REPENTINAS FLUCTUACIONES EN LA DEMANDA DE VAPOR. DEBIDO A SU GRAN VOLUMEN DE AGUA, EL TIEMPO QUE NECESITA PARA ALCANZAR SU PRESION DE TRABAJO, PARTIENDO DE UN ARRANQUE EN FRIO, ES CONSIDERABLEMENTE MAYOR QUE EL REQUERIDO POR UNA CALDERA ACUOTUBULAR.

SU POSIBILIDAD DE SOBRECALENTAMIENTO ES LIMITADA Y DEPENDE DEL TIPO DE CALDERA. CON EL AUMENTO DE LA DEMANDA DE VAPOR, LA TEMPERATURA DE LOS GASES SE ELEVA RAPIDAMENTE. EL COSTO DE UNA CALDERA DE TUBOS DE HUMO INSTALADA, ES RELATIVAMENTE BAJO Y CONSIDERABLEMENTE MENOR QUE LA CORRESPONDIENTE CALDERA ACUOTUBULAR DE DOMOS. Y COMO OFRECE CONDICIONES FAVORABLES CON RESPECTO A SUS COSTOS DE FABRICACION, ES PERFECTAMENTE ADAPTABLE A LA PRODUCCION ESTANDARIZADA.

TODAS LAS CALDERAS DE TUBOS DE HUMO APROBADAS, SE CONSTRUYEN DE ACUERDO CON EL CODIGO DE CALDERAS A.S.M.E. (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)

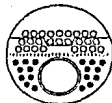
FIG. 4 A CALDERA DE TUBOS DE HUMO

PRIMER PASO



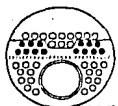
AREA
PRIMER
PASO

SEGUNDO PASO



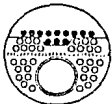
AREA
SEGUNDO
PASO

TERCER PASO



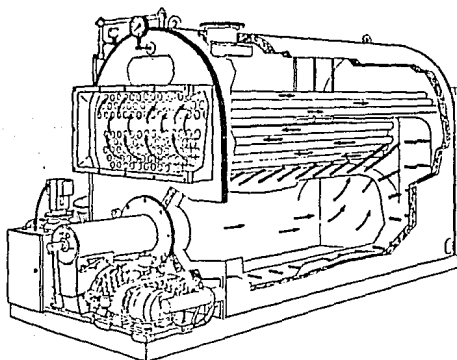
AREA
TERCER
PASO

CUARTO PASO



AREA
CUARTO
PASO

CALDERA DE 4 PASOS



CALDERA DE 3 PASOS

4.1b.- CALDERAS A ALTA PRESION.

CALDERAS ACUOTUBULARES DE TUBOS DE ACERO.

PARA PRESIONES SUPERIORES A 10.55 Kg/cm² [150 lb/in²], Y CON CAPACIDADES DE MAS DE 6804 Kg/hr [15000 lb/hr] DE VAPOR, SE EMPLEA CASI EXCLUSIVAMENTE LA CALDERA ACUOTUBULAR.(FIG.4 B) SE ENCUENTRAN TAMBIEN CALDERAS ACUOTUBULARES PEQUEÑAS DE BAJA PRESION [1 Kg/cm²- 15 lb/in²] QUE SE UTILIZAN EN INSTALACIONES DE CALEFACCION.

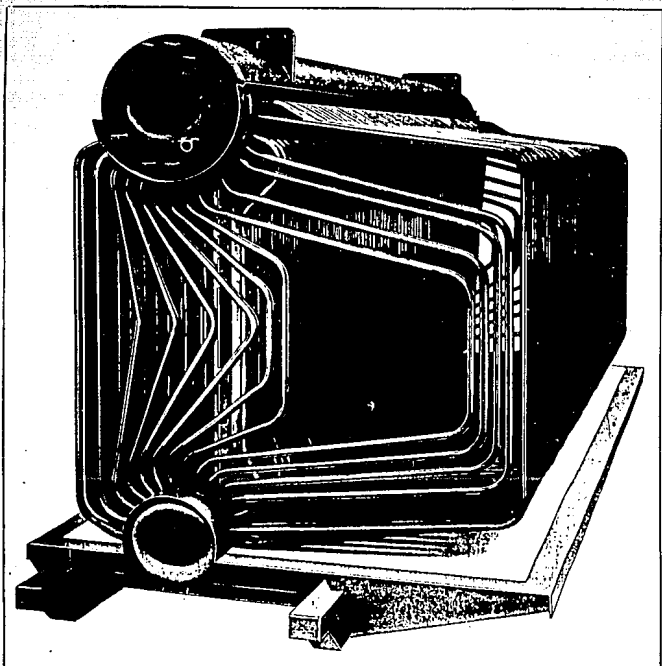
EN LAS INSTALACIONES O CENTRALES TERMOELECTRICAS, LA PRESION DE TRABAJO SUELE SER HASTA DE 351.5 Kg/cm² [5000 lb/in²].

LAS CALDERAS DE TUBOS DE HUMO DE ACERO SON INSUFICIENTES EN CUANTO SE PRESENTAN LAS NECESIDADES DE CAPACIDAD Y PRESION MAYORES. LOS DIAMETROS GRANDES DE LOS CUERPOS REQUIEREN PLACAS MAS GRUESAS, PARA SOPORTAR LOS ESFUERZOS A LOS QUE SON SOMETIDOS POR LA PRESION Y LA TEMPERATURA.

LOS DIFERENCIALES DE LAS TEMPERATURAS OCASIONAN GRANDES TENSIONES DE MAGNITUD INTERMINABLE. ESTAS TENSIONES, EN COMBINACION CON LOS EFECTOS DE LA INCRUSTACION Y OTROS SEDIMENTOS, HAN DADO LUGAR A MUCHAS EXPLOSIONES DE CALDERAS.

DEBIDO A LAS MENORES DIMENSIONES DE SUS ELEMENTOS COMPONENTES, Y SU FACILIDAD DE CONTRARRESTAR LOS EFECTOS DE LA EXPANSION, LA CALDERA ACUOTUBULAR ES MAS CONVENIENTE PARA LAS GRANDES CAPACIDADES Y MAYORES PRESIONES DENTRO DE LA CORRELATIVA SEGURIDAD DE SU DISEÑO.EL COSTO INICIAL DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR PEQUEÑA, ES MAS ALTO QUE LA DE TAMAÑO EQUIVALENTE DE TUBOS DE HUMO. LA MAYOR EFICIENCIA COMPENSARA EVENTUALMENTE ESTE COSTO INICIAL, MAYOR DE TODAS MANERAS. EN LAS INSTALACIONES DE CENTRALES TERMOELECTRICAS PARA SERVICIO PUBLICO, SE AMORTIZA MUY PRONTO EL ALTO COSTO INICIAL DE LOS SOBRECALENTADORES Y ECONOMIZADORES.

FIG. 4 B CALDERA ACUOTUBULAR O DE TUBOS DE AGUA



4.2.- PROCESO DE ABLANDAMIENTO EN CALIENTE MEDIANTE PRODUCTOS QUIMICOS.

EL PROCESO DE ABLANDAMIENTO EN CALIENTE AMPLIA LOS PRINCIPIOS Y REACCIONES DEL PROCESO DE ABLANDAMIENTO EN FRIO, A TEMPERATURAS MAS ALTAS, EN QUE LAS SOLUBILIDADES SON FAVORABLES PARA UNA REDUCCION DE DUREZA MUCHO MAYOR, Y PERMITE VARIACIONES EN EL TRATAMIENTO QUE NO SERIAN ECONOMICAS EN FRIO. EN EL PROCESO DE ABLANDAMIENTO EN CALIENTE, EL BIXIDO DE CARBONO ES REMOVIDO POR EVAPORACION [INSTANTANEA], SIN REQUERIR CAL. EL TRATAMIENTO, EN LA MAYORIA DE LOS CASOS, SE LLEVA A GRADO MAXIMO EMPLEANDO EXCESOS DE PRODUCTOS QUIMICOS.

EL ABLANDAMIENTO EN CALIENTE ES UNO DE LOS METODOS MAS VERSATILES DE TRATAMIENTO DE AGUA EFECTUANDO SIMULTANEAMENTE EL CALENTAMIENTO, DEAIRACION Y REMOCION DE DUREZA, SILICE, ALCALINIDAD EXCESIVA, TURBIDEZ Y OTRAS IMPUREZAS.

EL TRATAMIENTO COMUN QUE PREDOMINA EN ESTE PROCESO ES EL ABLANDAMIENTO CON CAL Y CARBONATO DE SODIO.. LAS VARIACIONES MENCIONADAS ARRIBA, INCLUYEN EL USO DE OXIDO DE MAGNESIO O SALES SOLUBLES DE MAGNESIO PARA REMOVER SILICE, Y YESO PARA TRATAR AGUAS CON BICARBONATO DE SODIO

PROCESOS DE INTERCAMBIO IONICO USADOS EN TRATAMIENTO DE AGUA.

ESTOS PROCESOS INCLUYEN EL INTERCAMBIO DEL ION SODIO, GENERALMENTE DESCRITO COMO ABLANDAMIENTO POR ZEOLITAS DE SODIO, INTERCAMBIO DEL ION HIDROGENO, USUALMENTE EMPLEADO EN COMBINACION CON ABLANDAMIENTO CON ZEOLITA DE SODIO E INTERCAMBIO ANIONICO, QUE GENERALMENTE SIGUE EL INTERCAMBIO DE IONES HIDROGENO PARA EFECTUAR DESMINERALIZACION O DESIONIZACION, PERO TAMBIEN APLICADO A LA REMOCION DE IONES ESPECIFICOS COMO EN LA DESALCALINIZACION.

A CONTINUACION SE REPRESENTAN LOS PROCESOS DE SUAVIZACION Y DESMINERALIZACION:

PROCESO DE SUAVIZACION DE AGUA (FIG'S. 4'C,D,E.).

- a) . - EL AGUA DURA QUE CONTIENE IONES CALCIO Y MAGNESIO ES ADMITIDA EN LA COLUMNA DE INTERCAMBIO IONICO.

- b) . - ANTES DE ENTRAR EN CONTACTO CON EL AGUA, LAS PARTICULAS DE RESINA ESTAN ASOCIADAS UNICAMENTE CON CATIONES DE SODIO REEMPLAZABLES MOVILES Y CON ANIONES FIJOS E IRREEMPLAZABLES.

- c) . - SE INICIA EL INTERCAMBIO. ALGUNOS DE LOS IONES CALCIO Y MAGNESIO SON ADSORBIDOS POR LA RESINA, LA CUAL A SU VEZ, LIBERA IONES SODIO. POR CADA ION CALCIO O MAGNESIO SE LIBERAN DOS IONES SODIO.

- d) . - LA PARTICULA DE RESINA HA AGOTADO SUS IONES SODIO Y CONTIENE AHORA IONES CALCIO Y MAGNESIO. EN LA PRACTICA, GENERALMENTE PERMANECEN EN EL INTERCAMBIADOR UNOS CUANTOS IONES SODIO.

- e) . - EL AGUA EFLUENTE HA SIDO SUAVIZADA, NO CONTIENE CATIONES PRODUCTORES DE DUREZA.

- f) . - EL LECHO DE RESINA PUEDE SER REGENERADO AGREGANDOLE UNA SOLUCION QUE CONTENGA IONES SODIO, GENERALMENTE CLORURO DE SODIO.

PROCESO DE DESMINERALIZACION DE AGUA (FIG'S. 4.F.G.H.I.J.K.)

- A).- LA SOLUCION CON MATERIALES IONICOS ES ADMITIDA EN LA COLUMNA DE RESINA DE INTERCAMBIO CATIONICO ASOCIADA UNICAMENTE CON IONES HIDROGENO MOVILES REEMPLAZABLES Y ANIONES FIJOS IRREEMPLAZABLES.
- B).- CONFORME LA SOLUCION SE VA PERCOLANDO A TRAVES DEL INTERCAMBIADOR, LOS CATIONES EN SOLUCION SON ADSORBIDOS POR LAS PARTICULAS DE RESINA, LAS CUALES, A SU VEZ, LIBERAN IONES HIDROGENO.
- C).- LO QUE SALE DE LA COLUMNA DE INTERCAMBIO CATIONICO SON IONES HIDROGENO Y LOS GRUPOS NEGATIVOS ANIONES ORIGINALMENTE PRESENTES EN LA SOLUCION. ESTOS AHORA SE HACEN PASAR POR UNA SEGUNDA COLUMNA DE RESINA DE INTERCAMBIO ANIONICO, LA CUAL ESTA ASOCIADA UNICAMENTE CON ANIONES OXHIDRILOS MOVILES, REEMPLAZABLES Y CATIONES FIJOS E IRREEMPLAZABLES.
- D).- SE INICIA EL INTERCAMBIO. LOS GRUPOS NEGATIVOS EN SOLUCION SON ADSORBIDOS EN EL INTERCAMBIADOR ANIONICO, REEMPLAZANDO LOS GRUPOS OXHIDRILOS.
- E).- EL EFLUENTE ES AGUA QUIMICAMENTE PURA.
- F).- EL LECHO DE RESINA PUEDE SER REGENERADO, AGREGANDO UNA SOLUCION QUE CONTENGA IONES HIDROGENO PARA EL CASO DEL CATION; Y UNA SOLUCION CONTENIENDO IONES OXHIDRILO PARA EL ANION.

4.2 A-TRATAMIENTO INTERNO MEDIANTE PRODUCTOS QUIMICOS

EL TRATAMIENTO INTERNO DEL AGUA PARA CALDERAS POR MEDIO DE COMPUESTOS QUIMICOS FUE EL PRIMER METODO Y EL MAS EXTENSAMENTE USADO PARA CORREGIR LAS DIFICULTADES PROVENIENTES DEL AGUA EMPLEADA PARA LA ALIMENTACION.

SE HAN UTILIZADO, PARA ESTE PROPOSITO, GRAN VARIEDAD DE SUSTANCIAS CON DIFERENTE COMPOSICION, MUCHAS TIENEN POCO O NINGUN EFECTO EN RETARDAR LA INCRUSTACION O CORROSION Y EN PREVENIR EN TODO LO POSIBLE LOS ARRASTRES Y ESPUMA DEL AGUA PARA CALDERAS. OTRAS SUSTANCIAS HAN OCASIONADO CON MUCHISIMA FRECUENCIA VERDADERO DAÑO A LAS CALDERAS.

EL USO DE REACTIVOS QUIMICOS Y SUSTANCIAS INHERENTES COMO PALIATIVOS PARA LA FORMACION DE INCRUSTACIONES, Y OTRAS DIFICULTADES DE OPERACION DE CALDERAS, ES UN TEMA CON LARGA HISTORIA. DURANTE MUCHOS AÑOS ANTES DE QUE EL TRATAMIENTO INTERNO DE AGUA PARA CALDERAS FUESE RECONOCIDO COMO UNA CIENCIA, LA LITERATURA TECNICA ABUNDO EN LA PUBLICACION DE ARTICULOS SOBRE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CIERTOS PRODUCTOS QUIMICOS O MEZCLAS PREPARADAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO APROPIADO DEL AGUA PARA CALDERAS. ERA DIFICIL PARA AQUELLOS QUE NO TENIAN UN ENTRENAMIENTO ESPECIAL EN ESTE CAMPO, DETERMINAR EL SIGNIFICADO REAL DE MUCHOS DE AQUELLOS DATOS PUBLICADOS. COMO RESULTADO DE LO ANTERIOR, MUCHOS INTENTARON EL TRATAMIENTO DEL AGUA DENTRO DE LA CALDERA BAJO INICIATIVA PROPIA PARA CORREGIR LAS AGUAS PARA ALIMENTACION DE MALA CALIDAD Y OBTENER MEJOR EFICIENCIA. LOS MATERIALES USADOS VARIARON DE ACUERDO CON LAS NOCIONES INDIVIDUALES DEL INGENIERO.

EN ALGUNOS CASOS, LA EXPERIENCIA ADQUIRIDA EN LA PRACTICA DIO POR RESULTADO UN TRATAMIENTO RELATIVAMENTE SATISFACTORIO AUN CARECIENDO DE UN CONOCIMIENTO QUIMICO EXACTO DE LAS SUSTANCIAS EMPLEADAS. FRECUENTEMENTE, TAMBIEN EL TRATAMIENTO

PRODUJO MAS DAÑO QUE BENEFICIO. EL DESEO DE LOS INGENIEROS PIONEROS POR CORREGIR AGUAS MALAS PARA ALIMENTACION CONDUJO AL USO DE MATERIALES TAN DIVERSOS COMO ANIMALES, MUERTOS, VEGETALES (PARTICULARMENTE PAPAS O PATATAS), POTASA CAUSTICA CARBONATO DE SODIO, ETCETERA. EL PROGRESO EN ESTE ARTE HA DEMOSTRADO LA FALACIA DEL USO DE MUCHOS DE ESTOS PRODUCTOS.

SIN EMBARGO, DEBIDO A LA DEMANDA DE MEJORES EFICIENCIAS EN LAS CALDERAS, LOS " COMPUESTOS PARA CALDERAS" DE ESCASO O NINGUN MERITO LLEGARON A CONSTITUIR UN NEGOCIO PROSPERO. ESTOS MATERIALES FUERON VENDIDOS FACILMENTE A OPERADORES NO PREPARADOS QUE NECESITABAN TRATAMIENTOS DE CORRECCION, PERO QUE NO CONTABAN CON MEDIOS PARA JUZGAR SU EFECTIVIDAD O VALOR.

SE ENCONTRO QUE LAS SALES DE SODIO PARA ABLANDAMIENTO INTERNO ERAN LOS INGREDIENTES EFECTIVOS EN LA MAYORIA DE LOS COMPUESTOS. CUANDO SE EVALUARON SOBRE EL CONTENIDO DE SAL DE SODIO EFECTIVA (SIN AGUA DE HIDRATACION), SE ENCONTRO QUE LA MAYORIA DE ESTAS PREPARACIONES POSEIA UN SOBREPREGIO CONSIDERABLE.

EL ARTE DEL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA ALIMENTACION MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS QUIMICOS APLICADOS AL AGUA PARA ALIMENTACION O AL AGUA CONCENTRADA EN EL INTERIOR DE LAS CALDERAS TIENE ACTUALMENTE UNA BASE CIENTIFICA FIRME. SIN EMBARGO, AUN SE VENDEN ALGUNOS MATERIALES FRAUDULENTOS E INEFECTIVOS. EN LA MAYORIA DE LOS CASOS EN QUE LOS COMPUESTOS PARA CALDERAS SE USAN CON EXITO, EL TRATAMIENTO ES APLICADO POR OPERADORES INTELIGENTES Y CAPACES, Y SE ENCUENTRAN REGULADOS MEDIANTE ANALISIS DEL AGUA CRUDA Y TRATADA.

ACTUALMENTE SE EMPLEAN PRODUCTOS QUIMICOS REFINADOS INORGANICOS Y ORGANICOS, PARA UN NUMERO CRECIENTE DE FUNCIONES ESPECIFICAS, ANTIGUAMENTE ASIGNADAS A COMPUESTOS PARA CALDERAS DE USOS MULTIPLES. ALGUNOS DE ESTOS PRODUCTOS QUIMICOS SIRVEN PARA

FINES DISTINTOS QUE EL TRATAMIENTO DE LA ALIMENTACION Y EL AGUA INTERNA DE LAS CALDERAS. PARA HACER ESTA LISTA HISTORICAMENTE EXACTA, SERIA NECESARIO INCLUIR MUCHOS MATERIALES, TALES COMO PRODUCTOS VEGETALES CRUDOS. PERO ESTOS RESULTAN EN LA ACTUALIDAD SER TOTALMENTE OBSOLETOS

FIG.4 C SUAVIZADOR LISTO PARA ENTRAR EN OPERACION

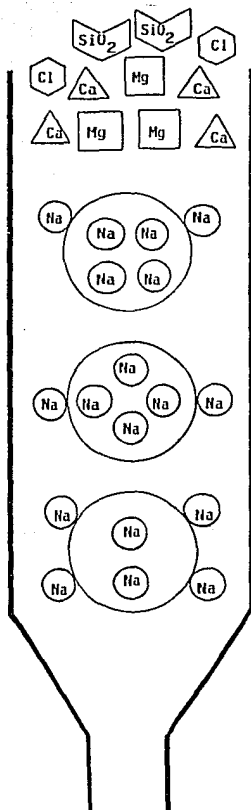


FIG. 4 D SUAVIZADOR OPERANDO SATISFACTORIAMENTE

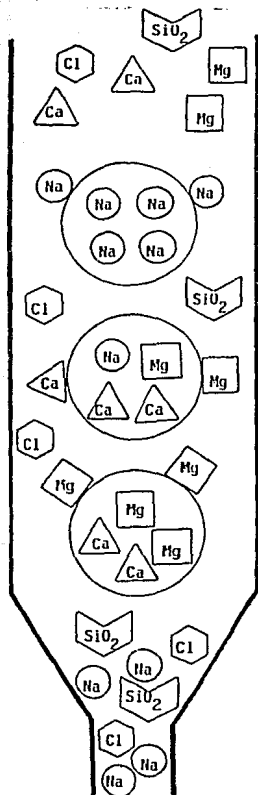


FIG. 4 E SUAVIZADOR AGOTADO

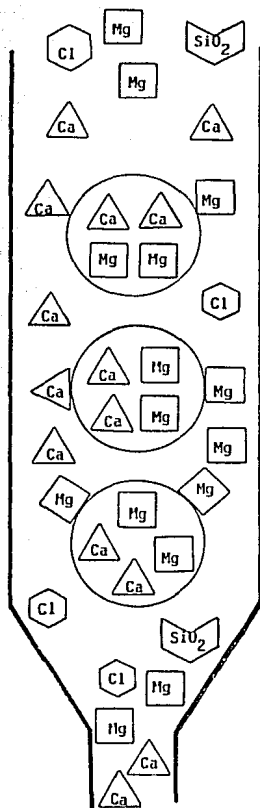


FIG. 4 F CATION LISTO PARA ENTRAR EN OPERACION

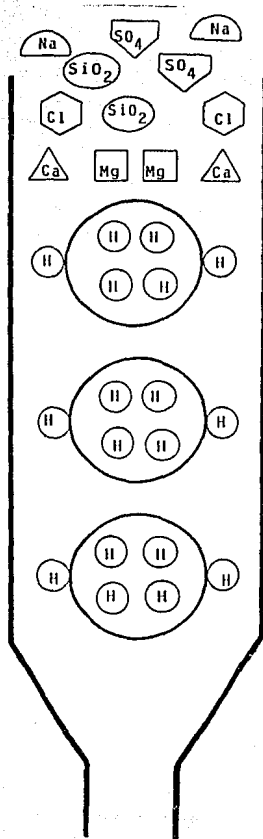


FIG. 4 G CATION OPERANDO SATTISFACTORIAMENTE

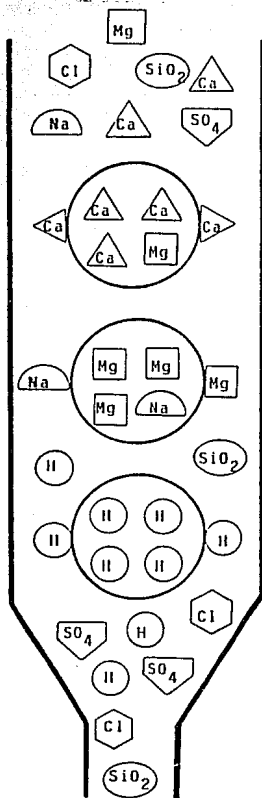


FIG. 4 H⁺ CATION AGOTADO

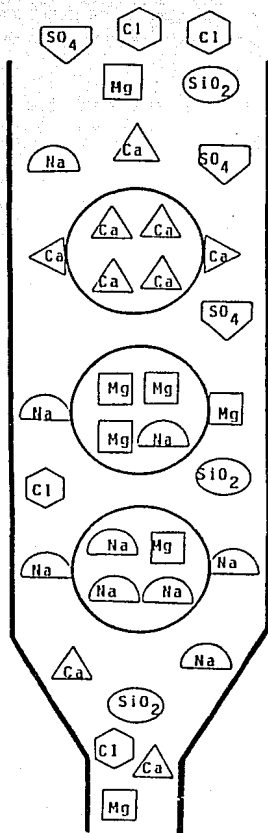


FIG. 4 I ANION LISTO PARA ENTRAR EN OPERACION

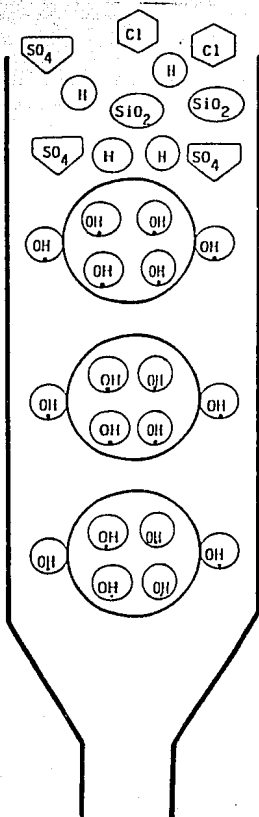


FIG.4 J ANION OPERANDO Satisfactoriamente

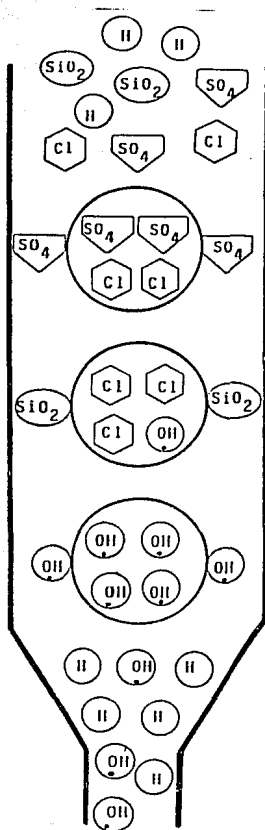
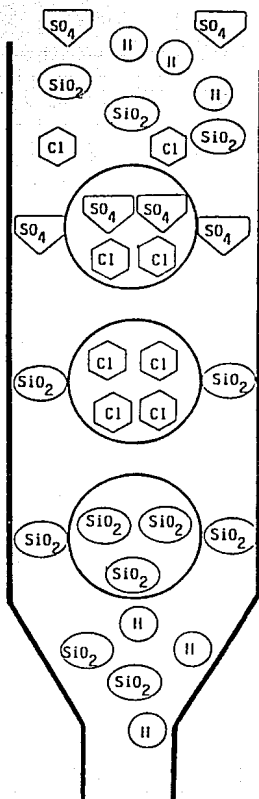


FIG.4 K ANION AGOTADO



4.3.- PRETRATAMIENTO AL AGUA DE ALIMENTACION A UNA CALDERA

EL TERMINO DE PRETRATAMIENTO SE REFIERE A CUALQUIER PROCESO EMPLEADO PARA MODIFICAR LA CALIDAD DEL AGUA DE REPOSICION O DE ALIMENTACION. EL TIPO DE SISTEMA DE PRETRATAMIENTO UTILIZADO DEPENDERA DE LOS SIGUIENTES FACTORES:

- LA CALIDAD INICIAL DEL AGUA EFLUENTE.
- LA CALIDAD DESEADA DEL EFLUENTE, LA CUAL ESTA DETERMINADA POR LOS REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR ESPECIFICO.

LOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE CALDERA ESTAN DETERMINADOS POR LA CALIDAD DEL AGUA DE ALIMENTACION. POR ELLO CUALQUIER FALLA EN EL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO AFECTARA ADVERSAMENTE EL PROGRAMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA CALDERA.

EN CONSECUENCIA, UN BUEN TRATAMIENTO DE AGUA DE CALDERA PUEDE FALLAR DEBIDO A LA OPERACION INADECUADA O INEFICIENTE DEL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO.

ESTE CAPITULO CUBRE LA OPERACION DE VARIOS SISTEMAS DE PRETRATAMIENTO.

CLARIFICACION

LA CLARIFICACION ELIMINA LOS SOLIDOS EN SUSPENSION QUE LE CONFIEREN TURBIDEZ Y COLOR A LA AGUAS SUPERFICIALES DE RIOS O LAGOS.

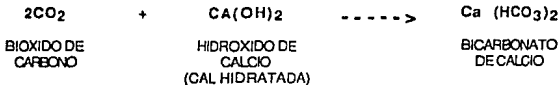
UN CLARIFICADOR ES UN RECIPIENTE EN EL CUAL LA VELOCIDAD DE FLUJO DE EL AGUA SE REDUCE PARA PERMITIR LA SEDIMENTACION DE LAS PARTICULAS. HAY TRES PASOS BASICOS EN EL PROCESO DE CLARIFICACION.

EL PRIMER PASO ES LA COAGULACION, EN SEGUIDA LA FLOCULACION Y FINALMENTE LA SEDIMENTACION. CUANDO LAS CONDICIONES EN CUALQUIERA DE LAS AREAS NO SEAN ADECUADAS LA CALIDAD DEL AGUA SE DETERIORA.

SUAVIZACION CON CAL EN FRIJO

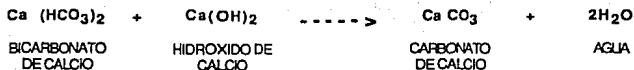
LA SUAVIZACION DE EL AGUA POR MEDIO DE LA ADICION DE CAL (OXIDO DE CALCIO) SE CONOCE DESDE HACE MAS DE CIENTO AÑOS. ESTE PROCESO CONSISTE BASICAMENTE EN LA ADICION DE CAL PARA PRECIPITAR LA DUREZA DE CALCIO Y MAGNESIO Y LA ALCALINIDAD DE BICARBONATOS.

ANTES DE QUE PUEDA LLEVARSE A CABO EL ABLANDAMIENTO, LA CAL CONVERTIDA EN LECHADA DE CAL SERA, CONSUMIDA POR CUALQUIER CANTIDAD DE BIOXIDO DE CARBONO LIBRE EN EL AGUA:

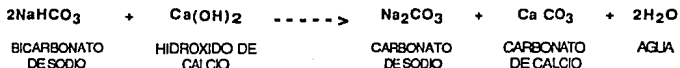
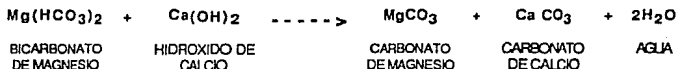


ESTA PRIMERA REACCION DE ABLANDAMIENTO PRODUCE BICARBONATO DE CALCIO EN ADICION A LA CANTIDAD DE ESTE TIPO DE DUREZA ORIGINALMENTE PRESENTE EN EL AGUA.

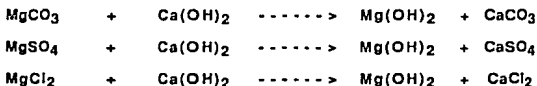
LA SEGUNDA Y MAS IMPORTANTE REACCION DE ABLANDAMIENTO DE AGUA MEDIANTE PRODUCTOS QUIMICOS, ES LA CONVERSION DE EL BICARBONATO SOLUBLE DE CALCIO EN CARBONATO NORMAL RELATIVAMENTE INSOLUBLE, EN CUYA FORMA ES REMOVIDO POR SEDIMENTACION Y FILTRACION:



EN CASO DE ENCONTRARSE PRESENTES BICARBONATOS DE MAGNESIO Y SODIO, EL CONSUMO DE CAL PARA EL TRATAMIENTO COMPLETO SE INCREMENTARA POR LAS REACCIONES SIGUIENTES:

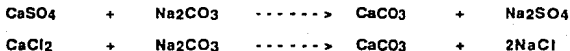


EN LA TERCERA REACCION DE ABLANDAMIENTO QUIMICO, LA CAL PRECIPITA AL HIDROXIDO DE MAGNESIO:



EL CARBONATO DE MAGNESIO, SOLUBLE, HA UTILIZADO YA UN EQUIVALENTE DE CAL EN SU FORMACION A PARTIR DE BICARBONATO DE MAGNESIO, Y REQUIERE UN SEGUNDO EQUIVALENTE PARA SU CONVERSION A HIDROXIDO.

LA CUARTA REACCION FUNDAMENTAL EN LA SUAVIZACION CON CAL-CARBONATO ES LA CONVERSION POR MEDIO DE SODA-ASH DEL SULFATO Y CLORURO DE CALCIO, SOLUBLES, A CARBONATO DE CALCIO, INSOLUBLE, EN LA SIGUIENTE FORMA:



EL CALCIO FORMADO DE ESTE MODO PRECIPITA JUNTO CON EL QUE PRODUCE EL BICARBONATO DE CALCIO.

EL CARBONATO DE SODIO AGREGADO NO SOLO REDUCE LA DUREZA NO-CARBONATADA DE CALCIO, SINO QUE TAMBIEN, ES NECESARIO PARA REMOVER LA DUREZA NO-CARBONATO DE MAGNESIO. ESTO ACONTECE PORQUE EL SULFATO Y CLORURO DE MAGNESIO, AL SER AGREGADA LA CAL, FORMAN UNA CANTIDAD EQUIVALENTE DE DUREZA NO-CARBONATO DE CALCIO, LA CUAL DEBE ENTONCES SER PRECIPITADA CON CARBONATO DE SODIO.

MECANISMO DE LA FORMACION DE DEPOSITOS

EXISTEN DOS CAUSAS BASICAS DE LA FORMACION DE DEPOSITOS EN EL SISTEMA DE CALDERAS.

EN EL PRIMER CASO LAS ALTAS TEMPERATURAS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS CALDERAS PROVOCAN LA PRECIPITACION DE COMPUESTOS (FIG. 4.3 A) CUYAS SOLUBILIDADES DISMINUYEN CONFORME AUMENTA LA TEMPERATURA (FIG.4.3 B). AQUI EL DEPOSITO ES ORIGINADO AL EXCEDER LA SOLUBILIDAD DEBIDO A LA TEMPERATURA.

EN EL SEGUNDO CASO LA CONCENTRACION DEL AGUA DE LA CALDERA DA LUGAR A QUE ALGUNOS COMPUESTOS EXCEDAN SU SOLUBILIDAD MAXIMA A UNA TEMPERATURA DADA, CAUSANDO LA

PRECIPITACION EN LAS AREAS DE ALTA CONCENTRACION. EN ESTE CASO, LA PRECIPITACION SE ORIGINA AL EXCEDER LA SOLUBILIDAD DEBIDO A LA CONCENTRACION DE LAS IMPUREZAS. LAS CONSECUENCIAS SE SUMARIZAN EN LAS FIG'S. 4.3 E, 4.3 F, Y 4.3 G.

EN CUALQUIER CASO SE FORMA UN DEPOSITO. EL MECANISMO BASICO SE VA A SUMARIZAR A CONTINUACION:

PROGRAMAS DE CONTROL.

LOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE CALDERA COMBINAN EL USO DE VARIOS PRODUCTOS QUIMICOS PARA MANTENER LA CALDERA LIBRE DE DEPOSITOS. EL PROGRAMA ADECUADO DEPENDERA DEL DISEÑO DE LA CALDERA, PRESION DE OPERACION, CONSTITUYENTES DEL AGUA DE REPOSICION, SISTEMAS DE PRETRATAMIENTO Y METODOS DE OPERACION. HAY DOS TIPOS BASICOS DE PROGRAMAS DE CONTROL DE DEPOSITOS (CUADRO 4.3 C):

PROGRAMAS DE PRECIPITACION Y PROGRAMAS DE SOLUBILIZACION.

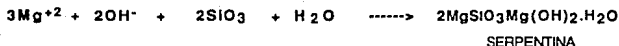
EN GENERAL, LOS PROGRAMAS BASADOS EN EL USO DE FOSFATOS ORGANICOS, TIENDEN A SER MAS NOBLES EN CUANTO A TOLERANCIA DE DESCONTROLES, Y A LAS FUGAS DE DUREZA, SE MANEJAN MAS FACILMENTE QUE CUANDO SE USAN PROGRAMAS A BASE DE QUELANTES.

ESTOS DOS TIPOS DE PROGRAMAS SE DESCRIBIRAN A CONTINUACION:

PROGRAMAS DE PRECIPITACION.-

EN ESTOS PROGRAMAS, EL TRATAMIENTO QUIMICO PROMUEVE LA PRACIPITACION DE LODOS EN LA CALDERA, EN VEZ DE INCRUSTACIONES. LOS PROGRAMAS A BASE DE FOSFATOS SON LOS PROGRAMAS DE PRECIPITACION MAS COMUNES. EN UN PROGRAMA DE FOSFATOS, LOS LODOS DESEABLES SON HIDROXIAPATITA DE CALCIO Y SERPENTINA. ESTOS SON RELATIVAMENTE NO ADHERENTES Y PUEDEN SER ELIMINADOS DE LA CALDERA A TRAVES DE LA PURGA DE FONDO.

LOS LODOS NORMALES DE LA CALDERA SE FORMAN DE ACUERDO CON LAS SIGUIENTES REACCIONES:



CUANDO NO SE MANTIENEN LAS DOSIS O CONTROLES ADECUADOS, PUEDEN FORMARSE INCRUSTACIONES DE CARBONATO DE CALCIO, SULFATO DE CALCIO, SILICATO DE CALCIO, HIDROXIDO DE MAGNESIO Y FOSFATO DE MAGNESIO, LOS CUALES SE VAN A DEPOSITAR EN LAS SUPERFICIES DE LOS TUBOS.

PUESTO QUE EL PROGRAMA DE PRECIPITACION ESTA DISEÑADO PARA FORMAR LODOS, EL USO DE DISPERSANTES DE LODOS, NATURALES Y/O SINTETICOS ORGANICOS PARA ACONDICIONARLOS, PUEDEN SERVIR EN FORMA EFECTIVA PARA PREVENIR LA EXCESIVA ACUMULACION.

PARA QUE UN PROGRAMA DE PRECIPITACION TENGA EXITO REQUIERE ADEMAS DEL TRATAMIENTO QUIMICO ADECUADO, LA ELIMINACION EFECTIVA DE SOLIDOS EN SUSPENSION. ES ESCENCIAL UNA PURGA DE FONDO EFICIENTE PARA ELIMINAR ESTOS.

A MENOS QUE ESTA SE REALICE CORRECTAMENTE, EL LODO PUEDE SER ARRASTRADO DEL FONDO DE LA CALDERA HACIA LOS TUBOS EN DONDE PODRIA REQUEMARSE EN LAS ZONAS CALIENTES.

PROGRAMA DE SOLUBILIZACION.

LOS TRATAMIENTOS DE SOLUBILIZACION NO SON SENSIBLES A LA MAYORIA DE LOS PROBLEMAS QUE AFECTAN A LOS PROGRAMAS DE FOSFATOS U OTROS DE PRECIPITACION.

LOS IONES DE DUREZA PERMANECEN EN FORMA SOLUBLE EN VEZ DE FORMAR PRECIPITADOS Y LODOS. HAY MENOR CANTIDAD DE SOLIDOS EN SUSPENSION PRESENTES EN LA CALDERA, POR LO TANTO, EL POTENCIAL DE AGLOMERACION, REQUEMADO Y AGLUTINAMIENTO DE LODOS SE REDUCE GRANDEMENTE.

LOS PROGRAMAS DE SOLUBILIZACION SE PUEDEN CLASIFICAR EN DOS TIPOS:

EL PRIMERO EMPLEA PRODUCTOS QUIMICOS QUE REACCIONAN ESTEQUIOMETRICAMENTE (UNO A UNO) CON LAS IMPUREZAS Y LAS MANTIENE EN FORMA SOLUBLE. EN TERMINOS SIMPLS, POR CADA PARTE DE DUREZA EN EL AGUA DE LA CALDERA, SE NECESITA UNA PARTE DE COMPUESTO QUIMICO, PARA MANTENERLA EN FORMA SOLUBLE.

EL PROGRAMA MAS COMUN DE SOLUBILIZACION CONSISTE EN EL USO DE QUELANTES DEL TIPO DE E.D.T.A. Y N.T.A.

LOS IONES DE CALCIO DEL AGUA DE ALIMENTACION Y DE LA CALDERA SON SECUESTRADOS POR EL QUELANTE IMPIDIENDO DE ESA FORMA QUE SE COMBINEN CON CARBONATOS, SULFATOS O SILICATOS, PARA FORMAR INCRUSTACION.

LOS IONES MAGNESIO PRESENTAN UN PROBLEMA LIGERAMENTE MAS DIFICIL PARA EL PROGRAMA DE QUELANTES.

EN EL AGUA DE ALIMENTACION CON P.H. DE 7.0-8.5, TANTO EL E.D.T.A. COMO EL N.T.A. TIENEN EFECTO QUELANTE SOBRE EL MAGNESIO Y EVITAN QUE ESTE CAUSE DEPOSITOS EN LA SECCION

PRE-CALDERA. SIN EMBARGO, EN LA CALDERA, LAS REACCIONES CON EL MAGNESIO RARAMENTE LLEGAN

A EFECTUARSE A CAUSA DEL ALTO P.H. DEL AGUA DE LA CALDERA. EN ESTAS CONDICIONES EXISTIRA ALGO DE PRECIPITACION DE SERPENTINA O HIDROXIDO DE MAGNESIO.

UNA GRAN DESVENTAJA DEL USO DE QUELANTES ES QUE REQUIERE UN ALTO GRADO DE CONTROL PARA QUE EL PROGRAMA TRABAJE CON EXITO. DEBE DE MANTENERSE UN RESIDUAL BAJO DE QUELANTE LIBRE EN EL AGUA DE LA CALDERA EN PRIMERA DEBIDO AL ALTO COSTO, Y EN SEGUNDO LUGAR POR EL POTENCIAL DE CORROSION QUE REPRESENTA EL USO DE ALTAS CONCENTRACIONES DE ESTOS.

LA FUGA EXCESIVA DE DUREZA EN EL AGUA DE ALIMENTACION, PUEDE EXCEDER LO QUE EL QUELANTE LIBRE PUEDE REACCIONAR. CUANDO EL QUELANTE LIBRE SE CONSUME, ENTONCES LA DUREZA REACCIONARA CON LOS ANIONES FORMANDO PRODUCTOS DE INCRUSTACION.

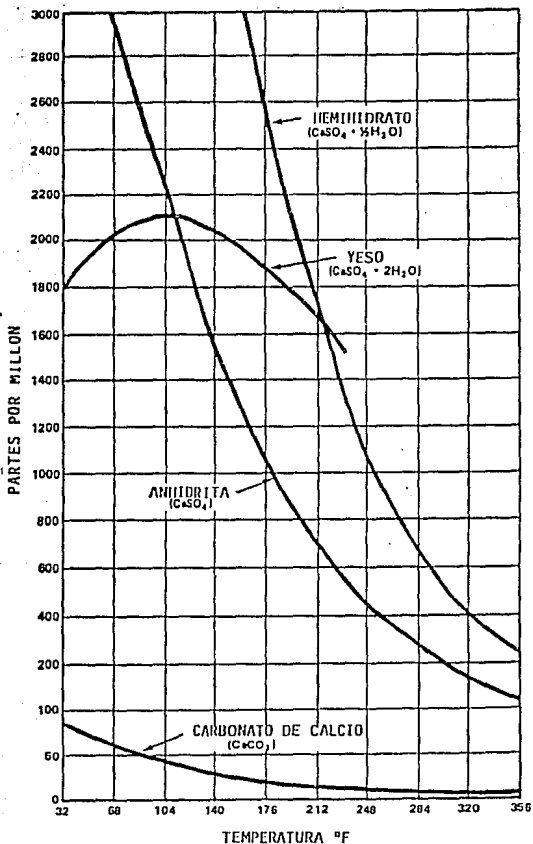
EL SUGUNDO TIPO DE PROGRAMAS DE SOLUBILIZACION EMPLEA POLIMEROS, DISPERSANTES Y ACONDICIONADORES DE LODOS DEL TIPO ORGANICO, LOS CUALES PREVIENEN LA FORMACION DE PRODUCTOS DE INCRUSTACION POR DISTORSION DE LA RED CRISTALINA Y DISPERSION DE LAS PARTICULAS PEQUEÑAS (FIG. 4.3 D).

LOS COMPUESTOS ORGANICOS ACTUAN ADSORBIENDOSE EN LA SUPERFICIE DE LOS PRECIPITADOS, EVITANDO ASI QUE SE AGLOMEREN EN PARTICULAS VOLUMINOSAS, Y MANTENIENDO SIMULTANEAMENTE LOS SOLIDOS EN FORMA SUAVE Y RELATIVAMENTE , NO ADHERENTES.

NO SE REQUIERE UN CONTROL EXACTO EN ESTE TIPO DE PROGRAMA DEBIDO A QUE LOS PRODUCTOS QUIMICOS DISTORSIONAN LA ESTRUCTURA CRISTALINA EN VEZ DE REACCIONAR CON MOLECULAS EN FORMA INDIVIDUAL. POR ESTA RAZON, LAS PEQUEÑAS VARIACIONES QUE PUEDAN EXISTIR EN

LA COMPOSICION DEL AGUA DE ALIMENTACION POR CAUSA DE DEFICIENCIAS EN EL PRETRATAMIENTO, SE PUEDEN CORREGIR EN CIERTA MEDIDA, SIN QUE SE VEA AFECTADA LA EFICACIA DEL PROGRAMA DE SOLUBILIZACION.

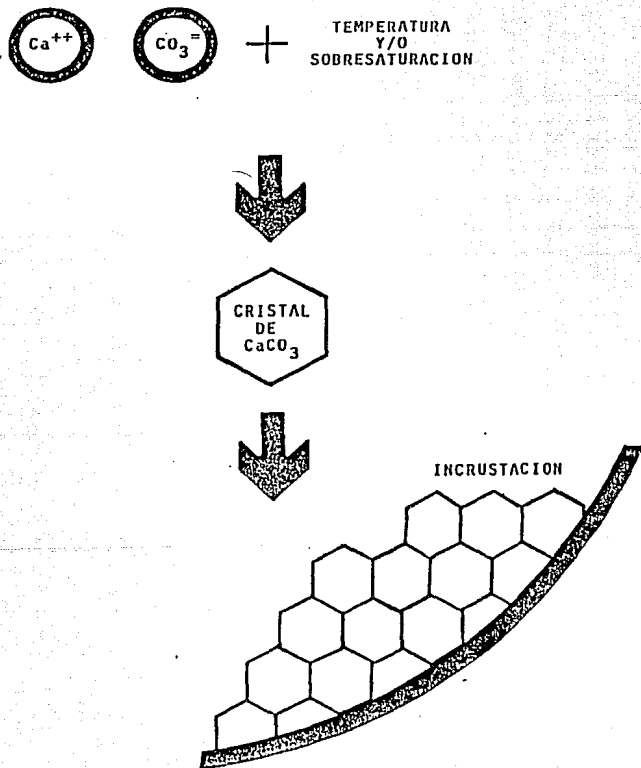
GRAFICA 4.3 B SOLUBILIDADES DE SALES INCRUSTANTES



CUADRO 4.3 C ANTI-INCRUSTANTES

PRODUCTO	FORMA DE CONTROL		
	SOLUBILIZACION	DISPERSION	MODIFICACION DE CRISTAL
LIGNINA/TANINOS		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ALMIDONES		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ACIDOS	<input checked="" type="checkbox"/>		
POLIFOSFATOS	<input checked="" type="checkbox"/>		
ESTERES DE FOSFATOS	<input checked="" type="checkbox"/>		
POLIMEROS DE BAJO PESO MOLECULAR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

FIG. 4.3 A MECANISMO DE LA INCRUSTACION



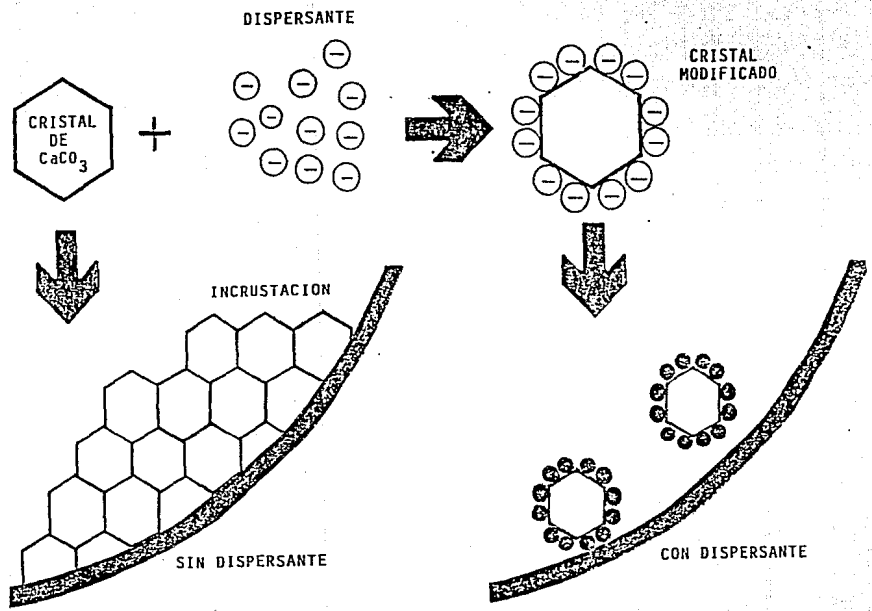
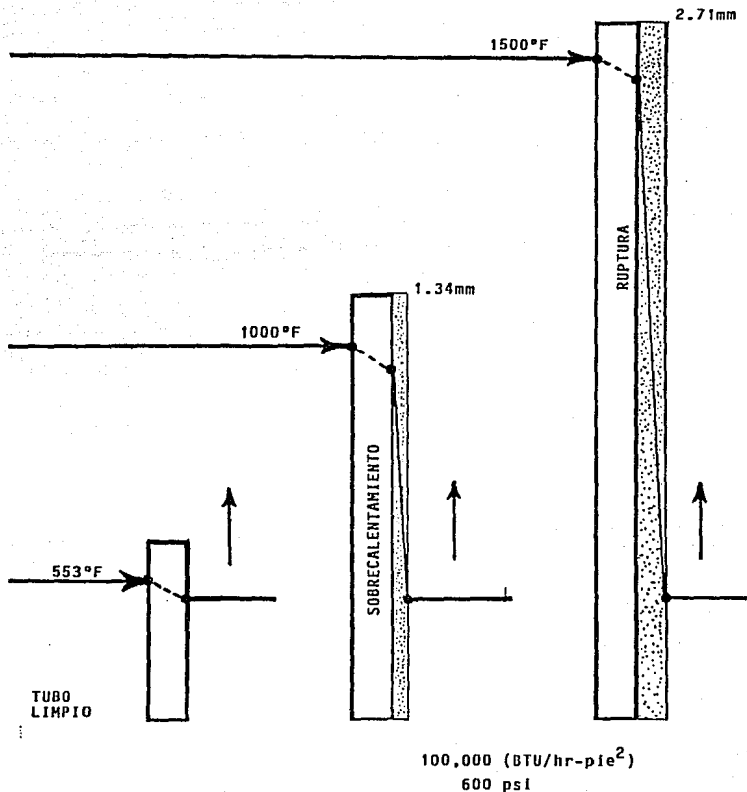


FIG. 4.3 D. MECANISMO DE LA MODIFICACION DE CRISTALES

FIG.4.3 E CONSECUENCIAS DE LAS INCRUSTACIONES

- **PERDIDA DE TRANSFERENCIA DE CALOR**
- **MAYOR CONSUMO DE COMBUSTIBLES**
- **MAYOR CONSUMO DE AGUA**
- **MAYOR ENERGIA DE BOMBEO**
- **CORROSION**
- **EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO**
- **LA PERDIDA DE LA EFICIENCIA**
- **LOS TIEMPOS MUERTOS**
- **LA PERDIDA DE LOS EQUIPOS**
- **SEGURIDAD**

FIG.4.3 F CONSECUENCIAS DE INCRUSTACIONES EN TUBOS DE CALDERA



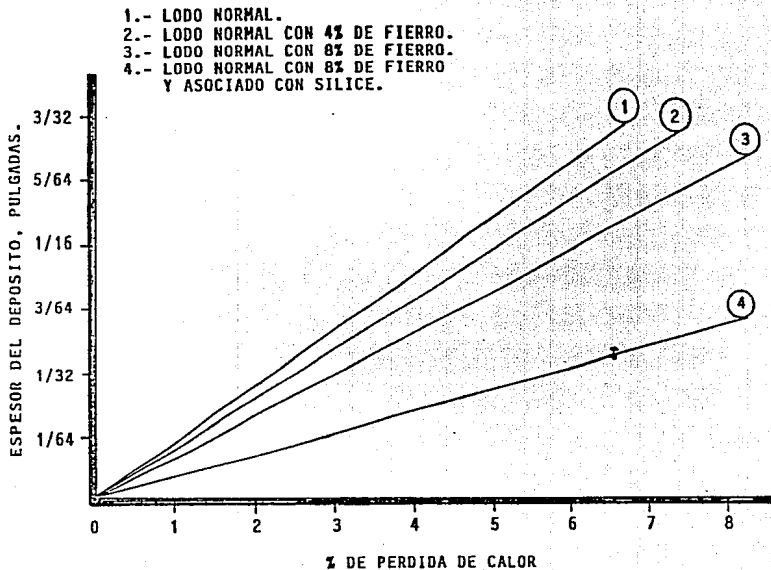


FIG.4.3 G PERDIDA DE CALOR POR DEPOSITO

CAPITULO 5

CORROSION Y SECUESTRANTE DE OXIGENO

AGUA DE CALDERAS - CONTROL DE CORROSION

DICHO SIMPLEMENTE, LA CORROSION ES LA REVERSION DEL METAL A SU FORMA ORIGINAL. EL FIERRO POR EJEMPLO, SE CONVIERTE EN OXIDO DE FIERRO COMO RESULTADO DE LA CORROSION. EL PROCESO DE CORROSION, SIN EMBARGO, ES UNA REACCION ELECTROQUIMICA BASTANTE COMPLEJA Y TOMA DIVERSAS FORMAS.

LA CORROSION PUEDE PRODUCIR UN ATAQUE GENERAL SOBRE UNA SUPERFICIE GRANDE DE UN METAL; O BIEN PUEDE RESULTAR EN PIQUETES MINUSCULOS O PICADURAS LOCALIZADAS DEL MISMO. NO OBSTANTE QUE LA CORROSION EN LAS CALDERAS PUEDE DEBERSE PRINCIPALMENTE A LA REACCION DEL METAL CON EL OXIGENO, EXISTEN OTROS FACTORES TALES COMO: ESFUERZOS, PRODUCTOS QUIMICOS CORROSIVOS Y DEPOSITOS, QUE PUEDEN TENER UNA INFLUENCIA IMPORTANTE Y PUEDEN PRODUCIR DIFERENTES FORMAS DE ATAQUE.

LA CORROSION EN LA CALDERA OCURRE GENERALMENTE CUANDO LA ALCALINIDAD DEL AGUA ES BAJA, O BIEN CUANDO EL METAL ESTA EXPUESTO AL AGUA CON OXIGENO DISUELTO, BIEN SEA DURANTE LA OPERACION O DURANTE LOS PERIODOS DE INACTIVIDAD. LAS ALTAS TEMPERATURAS Y ESFUERZOS EN EL METAL DE LA CALDERA TIENDEN A ACELERAR EL MECANISMO CORROSIVO. EN LOS SISTEMAS DE VAPOR Y DE CONDENSADO, LA CORROSION ES GENERALMENTE UN RESULTADO DE LA CONTAMINACION CON OXIGENO O DIOXIDO DE CARBONO.

LA INHIBICION DE CORROSION EN CALDERAS Y EQUIPO AUXILIAR ES ESENCIAL PARA PREVENIR LA RUPTURA DE TUBOS, DAÑOS AL EQUIPO O PAROS EN SERVICIO CON LAS CORRESPONDIENTES PERDIDAS DE PRODUCCION.

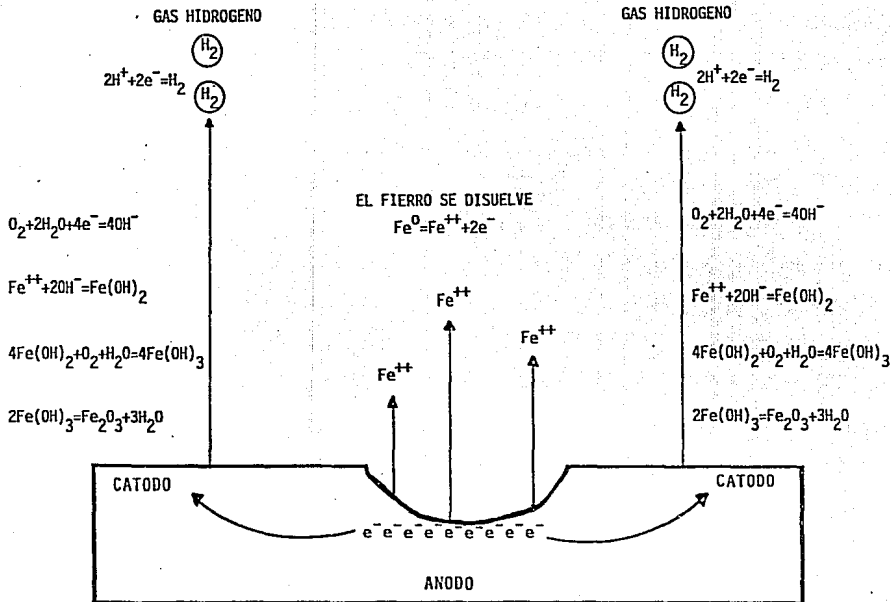
LA CORROSION INCONTROLADA EN SISTEMAS DE CALDERA ES PELIGROSA Y CARA. AUN CUANDO LLEGUE A PRODUCIRSE UNA FALLA, LOS PRODUCTOS DE CORROSION DEL FIERRO Y COBRE SON TRANSPORTADOS AL INTERIOR DE LA CALDERA EN DONDE FORMAN DEPOSITOS Y ACTUAN COMO UN MATERIAL AISLANTE, REDUCIENDO POR LO TANTO LA TRANSFERENCIA DE CALOR. LOS DEPOSITOS VAN TAMBIEN A INICIAR LA CORROSION EN SU FORMA DE CORROSION BAJO DEPOSITO.

ESTO CREA PRODUCTOS DE CORROSION ADICIONALES QUE SE DEPOSITAN EN CUALQUIER LODO Y EL PROCESO SE CONVIERTE EN AUTOPEPETUANTE.

EN ESTE CAPITULO DE DISCUTIRA COMO OCURRE LA CORROSION, LOS FACTORES QUE INFLUYEN, Y COMO EL TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA LA PREVIENE.

TEORIA DE LA CORROSION.

LA CORROSION ES UN PROCESO ELECTRO-QUIMICO EN EL CUAL SE DESARROLLA UNA DIFERENCIA EN EL POTENCIAL ELECTRICO ENTRE DOS METALES O ENTRE DIFERENTES PARTES DE UN SOLO METAL. LA DIFERENCIA DE POTENCIAL PERMITE QUE LA CORRIENTE PASE A TRAVES DEL METAL, CAUSANDO REACCIONES EN LOS SITIOS ANODICOS Y CATODICOS. ESTOS SITIOS CONSTITUYEN LA CELDA DE CORROSION QUE SE ILUSTR A CONTINUACION (FIG. 5 A):



CORROSION.- ES LA DETERIORACION QUE OCURRE CUANDO UN MATERIAL, GENERALMENTE UN METAL, REACCIONA CON SU MEDIO AMBIENTE.

EL ANODO ES LA REGION DE MENOR POTENCIAL, Y EL CATODO ES LA REGION DE POTENCIAL MAYOR. EN EL ANODO, LOS IONES METALICOS ENTRAN EN SOLUCION. EN GENERAL, MIENTRAS MAS BAJO SEA EL POTENCIAL EN EL ANODO, HABRA MAYOR PERDIDA DE METAL Y UN PROBLEMA DE DE CORROSION MAS SERIO. CUALQUIER METAL SUMERGIDO EN AGUA PRONTO DESARROLLARA UN POTENCIAL MEDIBLE; LOS DE POTENCIAL MAS BAJO SON LOS QUE SE CORROEN MAS FACILMENTE QUE AQUELLOS DE POTENCIAL MAS ALTO.

LA TABLA 5 B MUESTRA LA SERIE GALVANICA DE LOS METALES

TABLA 5 B SERIE GALVANICA DE LOS METALES

SERIE GALVANICA PARA ALGUNOS METALES
Y ALEACIONES EN AGUA DE MAR

(TERMINAL ANODICA)

Magnesio y sus Aleaciones
Zinc
Aluminio comercialmente puro (1100)
Cadmio
Aluminio 2024 (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
Acero y fierro
Fierro Fundido
Acero Inoxidable al Cromo, 11-30% Cr, (Activo)
Fierro fundido al alto Niquel (Ni-Resist.)
Acero Inoxidable 18-8 (Activo)
Acero Inoxidable 18-8 Mo (Activo)
Soldaduras Plomo-Estaino
Plomo
Estaino
Niquel (Activo)
Inconel (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe) (Activo)
Hastelloy U (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
Latón (Cu-Zn)
Cobre
Bronce (Cu-Sn)
Cupro Niqueles (60-90 Cu, 40-10 Ni)
Monel (70 Ni, 30 Cu)
Soldadura de Plata
Niquel (Pasivo)
Inconel (Pasivo)
Acero Inoxidable al Cromo, 11-30% Cr, (Pasivo)
Acero Inoxidable 18-8 (Pasivo)
Acero Inoxidable 18-8 Mo (Pasivo)
Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
Plata
Platino

(TERMINAL CATODICA)

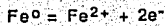
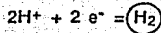
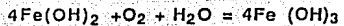
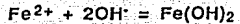
CUANDO DOS METALES DE LA SERIE FORMAN UN PAR, EL METAL QUE ESTE MAS BAJO EN LA SERIE, SE VA A CORROER.

CUANDO EL OXIGENO NO SE ELIMINA EFECTIVAMENTE POR DEAIRACION O POR MEDIO DE PRODUCTOS QUIMICOS [SECUESTRANTES DE OXIGENO] PUEDE ATACAR LAS SECCIONES PRE-CALDERA, CALDERA Y POST-CALDERA.

LA CORROSION POR OXIGENO SE MANIFIESTA COMO ATAQUE LOCALIZADO, PUESTO QUE LA CORROSION OCURRE EN UN AREA MUY PEQUEÑA, LA PERDIDA DE METAL ES EXTREMADAMENTE ALTA , Y SE PRESENTAN PICADURAS "PITTINGS" EN EL SISTEMA. ESTE "PITTING" SE PUEDE HALLAR DENTRO DE LAS LINEAS DE AGUA DE ALIMENTACION, A LO LARGO DE LA LINEA DE AGUA DEL DOMO DE VAPOR DE LA CALDERA, Y A TRAVES DEL SISTEMA DE CONDENSADOS. PUESTO QUE PUEDEN PRESENTARSE FALLAS MUY RAPIDAS DEBIDO AL ATAQUE POR OXIGENO, ES ESCENCIAL LA OPERACION ADECUADA DEL DEAIRADOR Y LOS NIVELES APRCIADOS DE PRODUCTOS QUIMICOS. LA CORROSION POR OXIGENO ES ORIGINADA POR LA CAPACIDAD DEL OXIGENO DE ATACAR EL CATODO DE LAS CELDAS DE CORROSION. DURANTE LA REACCION DE CORROSION, SE LIBERA GAS HIDROGENO EN EL CATODO. LA PELICULA DE GAS HIDROGENO QUE RECUBRE EL CATODO DISMINUYE LA VELOCIDAD DE CORROSION AL ACTUAR COMO UN AISLANTE ENTRE EL CATODO Y LOS IONES DE HIDROGENO LIBRE.

LA FIGURA 5 C ILUSTRAS ESTE TIPO DE ATAQUE:

FIGURA 5 C ATAQUE CORROSIVO POR OXIGENO



EL FIERRO SE
DISUELVE



CATODO

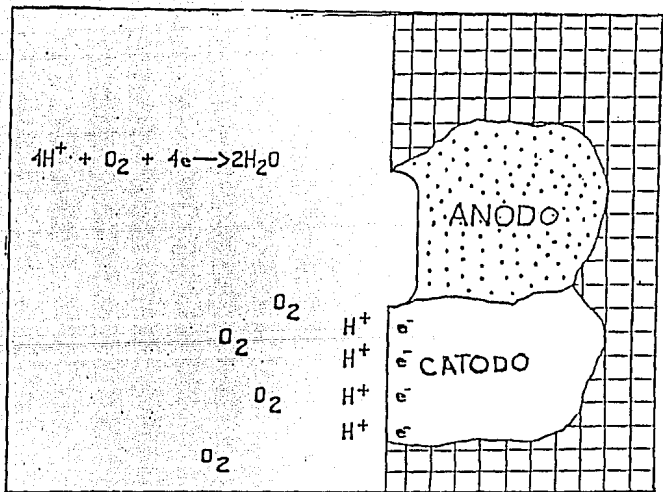
ANODO

CATODO

CUANDO EL OXIGENO ESTA PRESENTE EN LA SOLUCION, REACCIONA CON EL HIDROGENO EN LA SUPERFICIE CATODICA FORMANDO AGUA. ESTA REACCION ROMPE LA BARRERA PROTECTORA DE GAS HIDROGENO Y EL PROCESO DE CORROSION CONTINUA CON UNA PERDIDA RAPIDA DE METAL.

LA FIG. 5 D MUESTRA COMO REACCIONA EL OXIGENO CON HIDROGENO PARA CAUSAR CORROSION:

FIG.5 D CORROSION POR OXIGENO.



LA OPERACION EFICIENTE DEL DEAIRADOR MECANICO Y LOS RESIDUALES ADECUADOS DE PRODUCTOS QUIMICOS ELIMINADORES DE OXIGENO VAN A ASEGURAR QUE EL OXIGENO SE ELIMINE DEL SISTEMA Y QUE EL ATAQUE POR OXIGENO SE MANTENGA AL MINIMO (EN LA FIG.5 H SE MUESTRA LA PERDIDA DE VAPOR CUANDO SE PRESENTAN PICADURAS DE METAL POR CORROSION)

ELIMINACION MECANICA DE GASES CORROSIVOS.

PRACTICAMENTE TODAS LAS AGUAS CONTIENEN GASES CORROSIVOS. LOS DE MAYOR IMPORTANCIA EN AGUA DE ALIMENTACION SON:

- OXIGENO.
- DIOXIDO DE CARBONO.
- AMONIACO (OCASIONALMENTE)

ANTES DE ALIMENTAR EL AGUA A LAS CALDERAS, ESTOS GASES DEBEN ELIMINARSE O REDUCIRSE LO MAS POSIBLE. EL OXIGENO DISUELTO EN AGUA SE VUELVE DOBLEMENTE CORROSIVO POR CADA 17 GRADOS CENTIGRADOS (30 GRADOS FARENHEIT) DE ELEVACION DE TEMPERATURA. ESTO MARCA LA IMPORTANCIA DE MANTENERLO FUERA DE LOS SISTEMAS DE GENERACION DE VAPOR.

EL DIOXIDO DE CARBONO, CAUSA TAMBIEN PROBLEMAS DE CORROSION AL ESCAPAR CON EL VAPOR Y VOLVER ACIDOS LOS CONDENSADOS.

EL EQUIPO DE DEAIRACION, PUEDE ELIMINAR LA MAYOR PARTE DEL OXIGENO Y DEL DIOXIDO DE CARBONO DEL AGUA. LAS CANTIDADES RESTANTES PUEDEN SER NEUTRALIZADAS POR TRATAMIENTO QUIMICO.

LOS DEAIREADORES POR CALENTAMIENTO TIENEN VARIOS PROPOSITOS EN UN SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR: EL PROPOSITO PRINCIPAL SERA INCREMENTAR LA TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION POR MEDIO DEL CONTACTO DIRECTO CON VAPOR DE ESCAPE Y ELIMINAR LOS GASES DISUELTOS INDESEABLES COMO SON DIOXIDO DE CARBONO Y OXIGENO.

EL DEAIREADOR CONTIENE USUALMENTE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO (VER FIG. 5 E).

LOS DEAIREADORES MODERNOS PUEDEN REDUCIR EL OXIGENO DISUELTO A POR LO MENOS 0.007 MILIGRAMOS/LITRO.(EN LA FIG.5 F SE MUESTRA UNA GRAFICA DE LA SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA)

EL VAPOR ARRASTRA LOS GASES DISUELTOS DEL AGUA DE ALIMENTACION PUESTO QUE FLUYE A CONTRA-CORRIENTE Y ENTONCES LOS GASES SE VENTEAN A LA ATMOSFERA.

ELIMINACION QUIMICA DE OXIGENO

EN EL SISTEMA DE CALDERA, EL OXIGENO ES EL ENEMIGO TRADICIONAL DE LAS PARTES METALICAS, DISUELTO EN EL AGUA DE ALIMENTACION CORROE EL ACERO HUMEDO Y CALIENTE O SE ADICIONA AL VAPOR PARA ATACAR EL SISTEMA DE CONDENSADO. LA DEAIREACION DEL AGUA DE ALIMENTACION ELIMINARA LA MAYOR PARTE DEL OXIGENO DISUELTO PRESENTE, PERO AUN TRABAJANDO CON LOS DEAIREADORES MAS EFICIENTES, CIERTA CANTIDAD DE OXIGENO PASARA A LA CALDERA. POR CONSIGUIENTE ES NECESARIO ADICIONAR UN SECUESTRANTE DE OXIGENO PARA COMPLETAR LA ELIMINACION DE ESTE.

LOS PRODUCTOS QUIMICOS QUE SE EMPLEAN PARA ELIMINAR EL OXIGENO DEL AGUA DE ALIMENTACION A LA CALDERA SON:

- SULFITO DE SODIO (Na₂SO₃)
- HIDRAZINA (N₂H₄)

REACCIONAN CON EL OXIGENO DE LA SIGUIENTE FORMA:





EN AMBOS CASOS SE ELIMINA EL OXIGENO Y LOS PRODUCTOS DE REACCION NO SON PERJUDICIALES.

SULFITO DE SODIO CONTRA HIDRAZINA.

LA ELECCION ENTRE SULFITO DE SODIO E HIDRAZINA SE BASA EN SUS PROPIEDADES ESPECIFICAS. ALGUNAS CONSIDERACIONES BASICAS SON : FORMA FISICA Y VELOCIDADES DE REACCION.

- FORMA FISICA :

EL SULFITO DE SODIO ES UN POLVO SECO FACIL Y SEGURO DE MANEJAR .

LA HIDRAZINA ES UN LIQUIDO INCOLORO Y DE MANEJO .PELIGROSO EN SU FORMA CONCENTRADA, PUES ES FLAMABLE, ADEMAS PUEDE OCASIONAR IRRITACIONES EN LA PIEL. EN SOLUCIONES DILUIDAS PUEDE MANIPULARSE CON SEGURIDAD, SI SE TOMAN LAS DEBIDAS PRECAUCIONES.

- VELOCIDADES DE REACCION (VER FIG.5 G):

EL SULFITO DE SODIO REACCIONA CON EL OXIGENO CON BASTANTE RAPIDEZ INCLUSO A TEMPERATURAS BAJAS DEL AGUA DE ALIMENTACION .

LA REACCION DE LA HIDRAZINA CON EL OXIGENO ES MAS LENTA Y NO SE COMPLETA HASTA TEMPERATURAS DEL ORDEN DE 204 GRADOS CENTIGRADOS Y SUPERIORES

ESTABILIDAD:

EL SULFITO Y LA HIDRAZINA SE DESCOMPONEN A ALTAS TEMPERATURAS Y CONCENTRACION ELEVADA. EL SULFITO FORMA DIOXIDO DE AZUFRE O ACIDO SULFHIDRICO Y LA HIDRAZINA LIBERA AMONIACO. LA DESCOMPOSICION DEL SULFITO NO ES PROBLEMA EN LAS CALDERAS QUE TRABAJAN POR DEBAJO DE 1500 LB/IN² (105 KG/CM²) DE PRESION SI LAS CONCENTRACIONES SON ADECUADAS. EN CAMBIO, SE LIBERAN CANTIDADES IMPORTANTES DE AMONIACO DE LA HIDRAZINA, INCLUSO PARA CONCENTRACIONES DE 1 P.P.M. EN EL AGUA DE LA CALDERA.

PRODUCTOS DE REACCION:

EL SULFITO DE SODIO FORMA SULFATO SODICO AL REACCIONAR CON EL OXIGENO Y CONTRIBUYE A AUMENTAR LOS SOLIDOS DISUELTOS EN EL AGUA DE LA CALDERA.

LA HIDRAZINA NO AUMENTA EL CONTENIDO DE SOLIDOS PUES FORMA AGUA Y LIBERA NITROGENO QUE SE VA CON EL VAPOR.

EL SULFITO NO PUEDE ALIMENTARSE AL AGUA DE ALIMENTACION UTILIZADA PARA ATEMPERADORES DADO QUE ENTONCES FORMARA DEPOSITOS EN EL SISTEMA DE VAPOR (PRECALENTADOR Y TURBINA).

CONTROL:

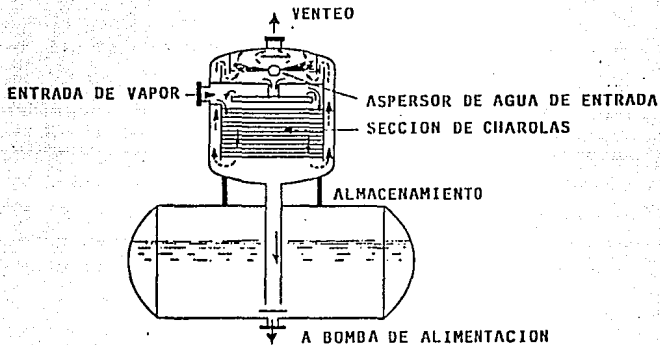
EL ANALISIS DE SULFITO EN EL AGUA ES SENCILLO.

EL ANALISIS DE HIDRAZINA REQUIERE UN EQUIPO MAS SOPFISTICADO Y DE GRAN PRECISION.

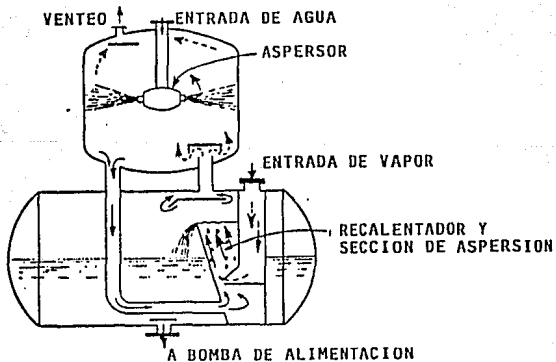
DE ACUERDO CON ESTAS CONSIDERACIONES, LA HIDRAZINA ESTA INDICADA PARA SU APLICACION EN CALDERAS DE ALTA PRESION EN DONDE LA APLICACION O ALIMENTACION PUEDE CONTROLARSE CON EXACTITUD.

OTRA VENTAJA EN ESTE TIPO DE CALDERAS ES QUE NO CONTRIBUYE AL CONTENIDO DE SOLIDOS DISUELTOS Y ESTO PERMITE TENER UN MAYOR MARGEN PARA LAS LIMITACIONES EN EL CONTROL DE LA CALDERA RESPECTO A ESTE PARAMETRO.

FIG.5-E EQUIPO DE AIREADOR

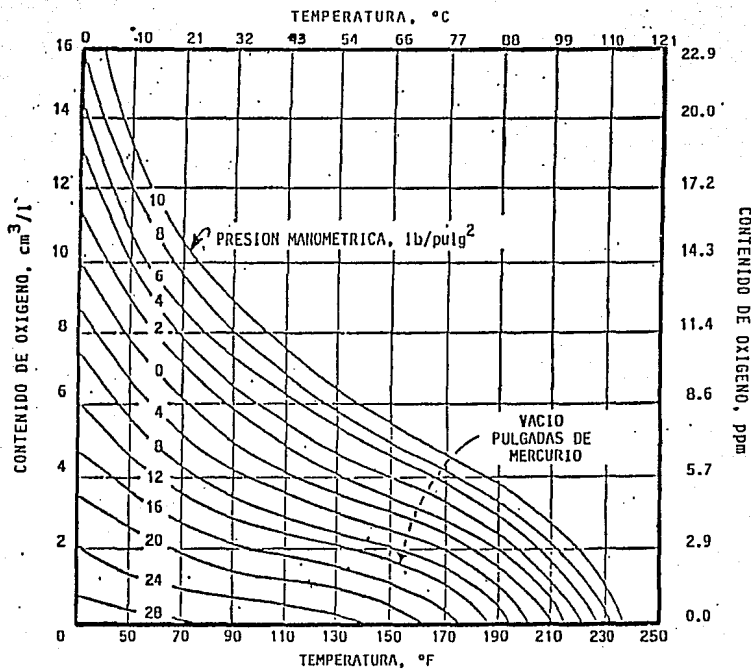


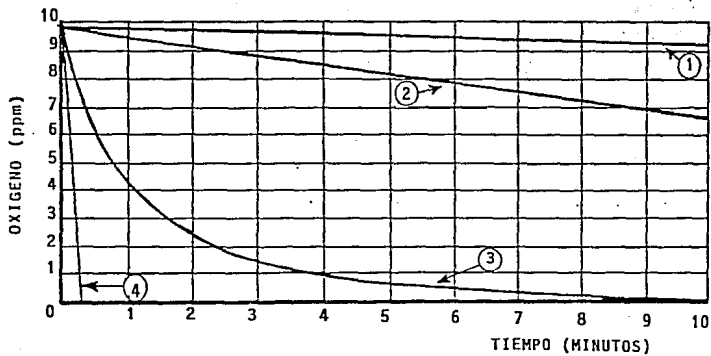
DEAIREADOR TIPO CHAROLAS



DEAIREADOR TIPO ASPERSION

FIG. 5 F SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN AGUA





- 1.- HIDRAZINA
- 2.- SULFITO DE SODIO
- 3.- HIDRAZINA CATALIZADA
- 4.- SULFITO DE SODIO CATALIZADO

FIG. 5 G VELOCIDAD DE REACCION
(HIDRAZINA V.S. SULFITO DE SODIO)

PRESION PSIG (Kg/cm ²)	DIAMETRO DE LA FUGA EN PULGADAS (mm)				
	1/16 (1.58)	1/8 (3.17)	1/4 (6.35)	1/2 (12.70)	1 (25.4)
	PERDIDA DE VAPOR EN LIBRAS/HORA (KILOGRAMOS/HORA)				
100 (7.04)	18.15 (8.25)	72.57 (32.98)	290.33 (131.96)	1,161.27 (527.85)	4,645.08 (2,111.40)
200 (14.08)	33.93 (15.42)	136.67 (62.12)	542.80 (246.72)	2,171.08 (986.85)	-
400 (28.16)	65.50 (29.77)	261.88 (119.03)	1,047.72 (476.23)	-	-
850 (59.85)	136.53 (62.05)	545.76 (248.07)	-	-	-

FIG. 5 H FUGAS DE VAPOR POR PICADURAS POR CORROSION

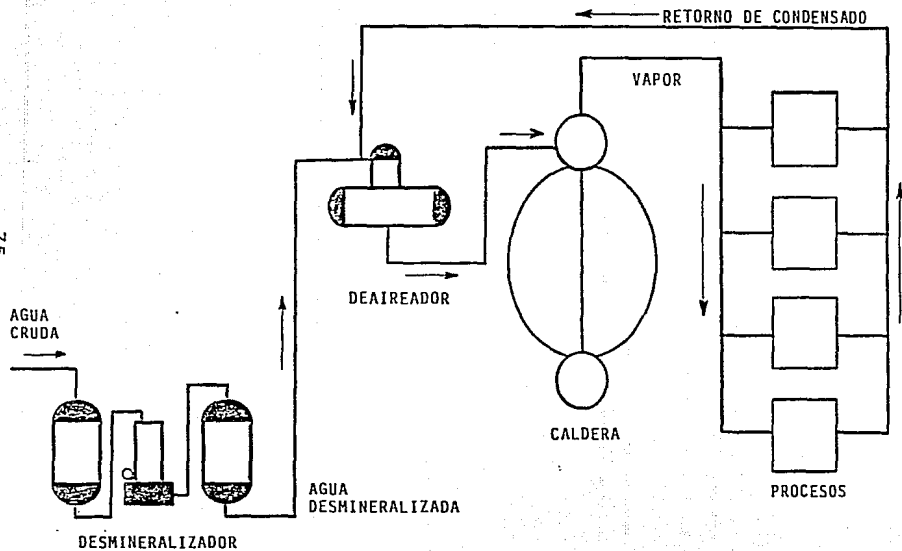


FIG.6 A SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR

CLASIFICACION EN FUNCION DE LA PRESION DE OPERACION.

DE ACUERDO A LA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA, LOS AUTORES COINCIDEN EN CLASIFICAR LAS CALDERAS EN FUNCION DE LA PRESION DE OPERACION DE LA SIGUIENTE MANERA:

A) DE BAJA PRESION POR DEBAJO DE 100 LB/IN²

B) DE MEDIANA PRESION ENTRE 100 Y 600 LB/IN²

C) DE ALTA PRESION ARRIBA DE 600 LB/IN²

TOMANDO EN CUENTA LA CLASIFICACION ANTERIOR Y EN BASE A LA EXPERIENCIA EN LA PRACTICA SE PUEDE HABLAR DETALLADAMENTE DE LOS INCISOS ARRIBA MENCIONADOS, CITANDO CASOS REALES Y APEGANDOSE A LAS CONSIDERACIONES DE LOS FABRICANTES Y EXPERTOS EN CALDERAS:

A) DE BAJA PRESION.

PARA CALDERAS DE BAJA PRESION, ES DECIR, MENORES A 100 LB/IN² (MENORES A 7 KG/CM²) EL TRATAMIENTO AL AGUA DE REPUESTO DE ACUERDO A LOS ESPECIALISTAS DEBE SER CUANDO MENOS SUAVIZADA MEDIANTE ZEOLITAS DE SODIO PERO SIN DAR TANTA IMPORTANCIA AL CONTROL DE ESTE TRATAMIENTO EXTERNO, DANDO MAS ENFASIS AL TRATAMIENTO INTERNO, RECOMENDANDO UN PROGRAMA CON FOSFATOS (PROGRAMA DE PRECIPITACION).

DENTRO DE ESTE INCISO SE PLANTEAN DOS CASOS, QUE A CONTINUACION SE MENCIONAN:

1). BAJA PRESION

1ER CASO:

CALDERA OPERADA A 6 KG/CM² (85.3LB/IN²) EN UNA INDUSTRIA PAPELERA UBICADA EN LA ZONA DE IXTAPALUCA EDO DE MEXICO Y CON UN AGUA DE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:

PARAMETROS	AGUA CRUDA	AGUA SUAVE	LIMITES PROPUESTOS	
			MIN.	MAX
PH	7.5	7.5	-	-
ALC. TOTAL	310	310	-	-
ALC. OH	-	-	500	750
DUREZA TOTAL	300	0	-	-
DUREZA CALCIO	260	0	-	5
DUREZA MAGNESIO	40	0	-	-
CLORUROS	36	36	-	-
SILICE	55	55	-	165
S.D.T.	4.95	4.95	-	-
ORTOFOSFATOS	-	-	30	50
SULFITOS	-	-	30	50
CICLOS DE CONCENTRACION	-	-	-	3.0

DATOS DE OPERACION:

CALDERA MARCA	SAN FRANCISCO
CAPACIDAD (HP)	300
VAPOR GENERADO KG/DIA	81,000
TIPO	TUBOS DE AGUA
P. OPERACION (KG/CM ²)	6
RECUP. CONDENSADOS	30 %

ESTA CALDERA COMENZO TRABAJANDO CON UN TRATAMIENTO INTERNO DE:

-FOSFATOS COMO ANTIINCRUSTANTE.

-SULFITO DE SODIO COMO SECUESTRANTE DE OXIGENO.

APEGANDOSE A LAS RECOMENDACIONES DE ACUERDO A LAS TABLAS DE A.S.M.E. (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS) Y EXPERTOS DE CALDERAS, SE MANTUVIERON RESIDUALES DE SULFITOS Y FOSFATOS ENTRE 30 Y 50 P.P.M..(VER GRAFICAS EN FIG'S 6 B, Y 6 C) Y AL CABO DE SEIS MESES DE OPERACION DE LA CALDERA CON ESTE TRATAMIENTO PROPUESTO, SE INSPECCIONO LA CALDERA ENCONTRANDOSE TAPONADOS CASI TOTALMENTE LOS TUBOS TANTO DE BAJADA DE AGUA COMO LOS DE GENERACION DE VAPOR, Y QUE AL LLEVARSE A CABO UN ANALISIS DE LOS DEPOSITOS ENCONTRADOS FUERTEMENTE ADHERIDOS A LA SUPERFICIE DE LOS TUBOS, EN SU TOTALIDAD ERAN DE FOSFATO TRICALCICO, OXIDOS DE FIERRO, Y CARBONATOS DE CALCIO EN MENOR PROPORCION.

COMO CONSECUENCIA DE ESTO, ANTES DEL PARO DE LA CALDERA, SE NOTO UN AUMENTO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE APROXIMADAMENTE 30%,ADEMAS DE UN INCREMENTO EN LA TEMPERATURA DE LOS GASES RESIDUALES DE LA COMBUSTION DESDÉ 140 HASTA 220 GRADOS CENTIGRADOS Y DISMINUCION HASTA EN UN 50 EN LA GENERACION DE VAPOR.

CON EL TRATAMIENTO PROPUESTO INICIALMENTE SE ESPERABAN LAS SIGUIENTES REACCIONES QUIMICAS

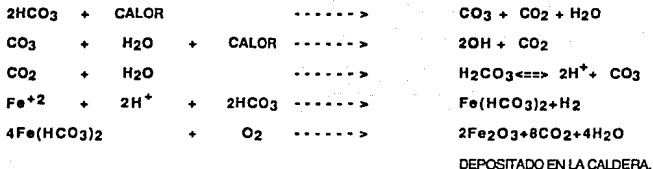


HIDROXIAPATITA DE CALCIO :
LODO NO ADHERENTE FACILMENTE
ELIMINABLE POR MEDIO DE LA
PURGA DE FONDO DE LA CALDERA.

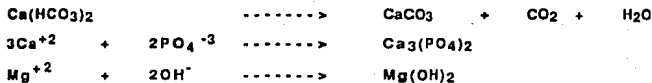


SIN EMBARGO COMO NO SE TUVO BUEN CONTROL DE LOS LIMITES MARCADOS PARA FOSFATOS Y SULFITOS, SE DIERON LAS SIGUIENTES REACCIONES:

OXIDOS EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS:



DEPOSITOS ENCONTRADOS FUERTEMENTE ADHERIDOS EN LA CALDERA:



CALDERA OPERADA A $6 \text{ KG}/\text{CM}^2$ ($85.3 \text{ LB}/\text{IN}^2$) EN UNA INDUSTRIA TEXTIL UBICADA EN IXTACUIXTLA, SAN MARTIN TEXMELUCAN EN EL ESTADO DE PUEBLA, CON CARACTERISTICAS DE AGUA ANOTADAS A CONTINUACION:

PARAMETROS	AGUA CRUDA	AGUA SUAVE	LIMITES PROPUESTOS	
			MIN.	MAX
PH	7.5	7.5	-	-
ALC. TOTAL	300	300	-	-
ALC. OH	-	-	500	750
DUREZA TOTAL	226	0	-	-
DUREZA CALCIO	130	0	-	5
DUREZA MAGNESIO	96	0	-	-
CLORUROS	4.2	4.2	-	-
SILICE	66	66	-	206
S.D.T.	500	500	-	-
ORTOFOSFATOS	-	-	30	50
SULFITOS	-	-	30	50
CICLOS DE CONCENTRACION	-	-	-	3.1

DATOS DE OPERACION:

CALDERA MARCA	CLEAVER BROOKS
CAPACIDAD (HP)	150
VAPOR GENERADO KG/DIA	45,159
TIPO	TUBOS DE HUMO
P. OPERACION (KG/CM ²)	6
RECUP. CONDENSADOS	50%

EN ESTA CALDERA, SE INICIO CON UN TRATAMIENTO A BASE DE :

- FOSFATOS COMO ANTIINCRUSTANTE.
- SULFITOS DE SODIO COMO SECUESTRANTE DE OXIGENO.
- AMINAS FILMICAS (MORFOLINA) PARA CONTROL DE CORROSION EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS.

AL CABO DE UN AÑO, SE INSPECCIONO LA CALDERA, ENCONTRANDOSE UNA CAPA DE DEPOSITOS DE FOSFATO DE CALCIO, CARBONATO DE CALCIO Y SILICATO DE MAGNESIO, ADEMAS DE LODOS NORMALES DE CALDERA (HIDROXIAPATITA Y SERPENTINA) ADHERIDOS LIGERAMENTE SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS TUBOS, Y TAMBIEN CONSIDERABLE CANTIDAD DE OXIDOS DE FIERRO PROVENIENTES DE LAS LINEAS DE CONDENSADOS.

COMO MEDIO DE ELIMINACION DE LODOS NORMALES DEL TRATAMIENTO, SE LLEVABAN A CABO 2 PURGAS DE FONDO EN LA CALDERA LO CUAL RESULTO INSUFICIENTE PARA LA ELIMINACION TOTAL DE ESTOS.

PARA ESTE CASO LAS REACCIONES ESPERADAS Y LAS QUE SE LLEVARON A CABO SON LAS MISMAS QUE EN EL CASO 1.

B).- DE MEDIANA PRESION

PARA CALDERAS DE MEDIANA PRESION (100-600 LB/IN²) (7-42 KG/CM²), SE RECOMIENDA GENERALMENTE COMO TRATAMIENTO EXTERNO PARA EL AGUA DE REPUESTO, SUAVIZACION CON ZEOLITAS DE SODIO Y OCASIONALMENTE PROCESOS DE SUAVIZACION CON CAL-CALIENTE O FRIO REFORZADO CON ZEOLITAS DE SODIO. SIN EMBARGO EN LA PRACTICA PARA CALDERAS QUE OPERAN ENTRE 200-600 LB/IN² YA SE HACE NECESARIO UN TRATAMIENTO MINIMO DE CAL-OXIDO DE MAGNESIO Y/O DESMINERALIZACION POR INTERCAMBIO IONICO PARA OBTENER UN AGUA CON MENOR CONTENIDO DE SOLIDOS DISUELTOS QUE PUDIERAN PROVOCAR INCRUSTACIONES EN EL INTERIOR DE LAS CALDERAS, Y EL USO DE DEAIREADORES PARA LA ELIMINACION CASI TOTALMENTE DEL OXIGENO DISUELTO EN EL AGUA DE ALIMENTACION PARA LA PREVENCION DE LA CORROSION POR ESTE ELEMENTO.

COMO TRATAMIENTO INTERNO PARA AGUA DE CALDERAS ARRIBA DE 250 LB/IN² Y MAXIMO 600 LB/IN² SE PREFERE Y RECOMIENDAN LOS EXPERTOS DE CALDERAS UN PROGRAMA DE PRECIPITACION CON EL USO DE FOSFATOS Y COMPLEMENTANDO CON UN POLIMERO PARA LA ELIMINACION DE LODOS EN FORMA MAS EFICAZ, COMO OPCIONAL ESTE ULTIMO.

CABE MENCIONAR QUE PARA PRESIONES ARRIBA DE 200 LB/IN² SE VUELVE UNA LIMITANTE LA GENERACION EXCESIVA DE LODOS.

EN ESTE INCISO Y PARA COMPROBACION DE ACUERDO A LA TEORIA, SE MENCIONAN 4 CASOS REALES:

1) 1ER. CASO:

CORRESPONDIENTE A UNA CALDERA DE TUBOS DE AGUA EN UNA COMPAÑIA TAMBIEN PAPELERA LOCALIZADA EN TEXCOCO, EDO. DE MEXICO, OPERANDO A 12 KG/CM² Y CUYA COMPOSICION DE AGUA ES LA SIGUIENTE:

PARAMETROS	AGUA CRUDA	AGUA SUAVE	LIMITES PROPUESTOS	
			MIN.	MAX
PH	7.0	7.0	-	-
ALC. TOTAL	140	140	-	-
ALC. OH	-	-	500	750
DUREZA TOTAL	144	0	-	-
DUREZA CALCIO	98	0	-	5
DUREZA MAGNESIO	46	0	-	-
CLORUROS	7.1	7.1	-	-
SILICE	60	60	-	300
S.D.T.	200	200	-	-
ORTOFOSFATOS	-	-	30	50
SULFITOS	-	-	30	50
CICLOS DE CONCENTRACION	-	-	-	5.0

DATOS DE OPERACION;

CALDERA MCA

INDUSTRIAS PESADAS

TIPO

TUBOS DE AGUA

PRESION O.P.

12 KG/CM²

VAPOR GENERADO

280 TON/DIA

REC. CONDENSADOS

30%

EL TRATAMIENTO INICIAL FUE A BASE DE UN PROGRAMA DE PRECIPITACION CON:

POLIFOSFATO DE SODIO (ANTIINCRUSTANTE)

SULFITO DE SODIO (SECUESTRANTE DE OXIGENO)

AMINAS FILMICAS (ANTICORROSIVO EN LINEAS DE CONDENSADO)

DESPUES DE UN AÑO CON ESTE TRATAMIENTO QUIMICO Y OPERANDO LA CALDERA CON LOS LIMITES PROPUESTOS DENTRO DE RANGO SE PUEDE OBSERVAR QUE EXISTIA CIERTO GRADO EN LA GENERACION DE LODOS Y ACUMULADOS EN EL DOMO INFERIOR DE LA CALDERA, ADEMAS DE TENER ALGO DE SOLIDOS DEPOSITADOS TANTO EN AMBOS DOMOS COMO EN EL INTERIOR DE LOS TUBOS GENERADORES DE VAPOR, SIN LLEGAR A FORMAR UNA INCRUSTACION.

EN ESTE CASO EL VAPOR GENERADO SIRVE PARA SECADO DE PAPEL EN TAMBORES DE ACERO INOXIDABLE.

2DO. CASO

EL CASO ES DE UNA CALDERA DE TUBOS DE AGUA EN UNA COMPAÑIA ALIMENTICIA EN LA ZONA DE TULTITLAN, EDO. DE MEXICO, OPERANDO A 14 KG/CM².

PARAMETROS	AGUA TRATADA CAL-OXIDO DE MAGNESIO- YESO EN CALIENTE	AGUA SUAVE	LIMITES PROPUESTOS	
			MIN.	MAX
PH	7.0	7.0	-	-
ALC. TOTAL	250	250	-	-
ALC. OH	0	0	500	750
DUREZA TOTAL	64	0	-	-
DUREZA CALCIO	40	0	-	5
DUREZA MAGNESIO	24	0	-	-
CLORUROS	21.3	21.3	-	-
SILICE	3.0	3.0	-	150
S.D.T.	320	320	-	-
CONCENTRACION DE PRODUCTO ORGANICO (ISOQUEST)	-	-	25	50
SULFITOS	-	-	30	50
CICLOS DE CONCENTRACION	-	-	-	9.0

CALDERA MCA

B&W (BABCOCK & WILCOX)

VAPOR GENERADO

24 TON/HR.

EN ESTE CASO UN AÑO SE ESTUVO OPERANDO LA CALDERA CON UN PROGRAMA QUIMICO DE PRECIPITACION, ES DECIR CON:

POLIFOSFATO DE SODIO (ANTIINCRUSTANTE)
SULFITO DE SODIO (SECUESTRANTE DE OXIGENO)
Y SIN ADONCONDICIONADOR DE LODOS.

DURANTE ESTE AÑO CON ESTE TRATAMIENTO QUIMICO, SE TUVO TRABAJANDO LA CALDERA CON LOS LIMITES FUERA DE RANGO Y DESPUES DE INSPECCIONAR LA SE ENCONTRO UN FUERTE PROBLEMA DE INCRUSTACION EN EL INTERIOR. QUE EN PRIMERA INSTANCIA ELEVO LOS COSTOS EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, Y CON LA SUBSECUENTE FALLA DE ALGUNOS TUBOS Y SU INMEDIATA REPARACION ELEVANDO ESTO TAMBIEN LOS COSTOS POR MANTENIMIENO CORRECTIVO.

3).- 3ER. CASO

EN ESTE CASO SE EVALUO EL TRATAMIENTO QUIMICO EN UNA CALDERA DE OTRA COMPAÑIA PAPELERA UBICADA EN LA ZONA DE IXTAPALUCA, EDO. DE MEXICO, EN DONDE EL VAPOR GENERADO SE UTILIZA PARA EL SECADO DE PAPEL RECICLADO Y EN SU MAYOR PARTE PARA GENERAR CORRIENTE ELECTRICA POR MEDIO DE TURBINA PARA CONSUMO DE LA PLANTA.

PARAMETROS	AGUA CRUDA	AGUA PULIDA	LIMITES PROPUESTOS	
			MIN.	MAX
PH	7.0	7.0	-	-
ALC. TOTAL	150	0	250	600
DUREZA TOTAL	146	0	-	0
DUREZA CALCIO	84	0	-	-
DUREZA MAGNESIO	62	0	-	-
CLORUROS	7.1	1.4	-	-
SILICE	56	0.02	-	40
S.D.T.	250	2	-	-
ORTOFOSFATOS	-	-	30	50
HIDRAZINA	-	-	0.05	0.5

DATOS DE OPERACION;

CALDERA MCA

BABCOCK AND WILCOX

TIPO

TUBOS DE AGUA

PRESION O.P.

38 KG/CM²

VAPOR GENERADO

20,000 KG/HR

REC. CONDENSADOS

50%

EL TRATAMIENTO QUIMICO INICIAL SE BASA EN EL USO DE:

- 1) FOSFATO (TRIPOLIFOSFATO DE SODIO) COMO ANTIINCRUSTANTE.
- 2) SULFITO DE SODIO COMO SECUESTRANTE DE OXIGENO.

EN ESTE CASO SE MANTUVO UNA ALCALINIDAD TOTAL EN VALORES DE 250 A 600 PPM, AL CABO DE UN AÑO SE INSPECCIONO TANTO LA CALDERA COMO LOS ALABES DE LA TURBINA, ENCONTRANDOSE EN EL DOMO SUPERIOR Y EN ESTOS ULTIMOS ACUMULACION DE SOLIDOS ADHERIDOS QUE SE

PUDIERON REMOVER CON AGUA A PRESION, ADEMAS ABUNDANTE LODO EN EL DOMO INFERIOR, FUERTEMENTE ADHERIDO , Y LIGERO GRADO DE CORROSION EN TUBOS Y DOMOS.

PARA ESTA CALDERA SE TIENE AGUA DESMINERALIZADA Y PULIDA CON RESINA DE INTERCAMBIO IONICO, COMO AGUA DE REPOSICION Y LA CARACTERIZACION DE LAS AGUAS SE DA A CONTINUACION:

PARAMETROS	AGUA CRUDA	AGUA PULIDA	LIMITES PROPUESTOS	
			MIN.	MAX
PH	7.0	7.0	-	-
DUREZ TOTAL	150	0	-	0
DUREZA CALCIO	146	0	-	-
DUREZA MAGNESIO	84	0	-	-
CLORUROS	7.1	0	-	-
SILICE	56	0.2	-	40
S.D.T.	250	2.0	-	-
ORTOFOSFATOS	-	-	30	50
SULFITOS	-	-	30	50

DATOS DE OPERACION:

GENERACION DE VAPOR [KG/HR]	20,000
TIPO	TUBOS DE AGUA
P. OPERACION [LB/IN ²]	560
REC. DE CONDENSADOS %	50

4) .- 4TO CASO:

EN ESTE CASO SE EVALUO EL FUNCIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO QUIMICO EN UNA INDUSTRIA TAMBIEN PAPELERA UBICADA EN TLALPIZAHUAC EDO. DE MEXICO, OPERANDO LAS CALDERAS A 600 LB/IN² Y DONDE EL VAPOR GENERADO ES UTILIZADO PARA SECADO DEL PAPEL Y LA MAYOR PARTE PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA POR MEDIO DE TURBINAS, PARA CONSUMO DE LA PLANTA, EL AGUA DE REPOSICION ES AGUA DESMINERALIZADA.

EL TRATAMIENTO QUIMICO ESTABA FORMADO POR LOS SIGUIENTES PRODUCTOS:

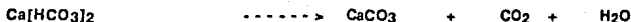
- POLIFOSFATO DE SODIO [COMO ANTIINCRUSTANTE].
- HIDRAZINA [COMO SEQUESTRANTE DE OXIGENO]
- ACONDICIONADOR DE LODOS ORGANICO
- AMINA NEUTRALIZANTE [CICLOHEXILAMINA] PARA CONTROL DE LA CORROSION EN LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS]

AL CABO DE UN AÑO DE MANTENER ESTE TRATAMIENTO QUIMICO Y CON NIVELES DE ANTIINCRUSTANTE POR ARRIBA DEL LIMITE RECOMENDADO POR ASME [THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS], SE PUDO APRECIAR QUE EXISTIA UNA GRAN ACUMULACION E INCRUSTACION DE LODOS CONSTITUIDOS EN SU MAYOR PARTE POR FOSFATO TRICALCICO, Y LODOS NORMALES DE CALDERA NO ADHERENTES, EN MENOR PROPORCION, ASI COMO SILICATO DE MAGNESIO Y OXIDOS DE FIERRO.

REACCIONES ESPERADAS CON EL TRATAMIENTO INICIAL:



SIN EMBARGO COMO NO SE TUVO UN BUEN CONTROL SOBRE LOS LIMITES RECOMENDADOS, SE DIERON LAS SIGUIENTES REACCIONES QUIMICAS:





ESTA ULTIMA REACCION SE DIO POR TENER UN ALTO RESIDUAL DE HIDRAZINA EN EL AGUA DE LA CALDERA, Y QUE OCASIONO CORROSION EN LOS CONDENSADORES EN EL SISTEMA DE TURBINAS

c) CALDERAS A ALTA PRESION

UN CRITERIO IMPORTANTE EN LA SELECCION DEL FOSFATO DE SODIO COMO TRATAMIENTO QUIMICO INTERNO, ES LA ALCALINIDAD QUE SE QUIERA APORTAR O ELIMINAR A EL AGUA DE LA CALDERA. (VER GRAFICAS EN FIG'S. 6 B, Y 6 C)

EL FOSFATO MONOSODICO ES ACIDO, Y EL HEXAMETAFOSFATO DE SODIO AUNQUE ES NEUTRO, CAUSARA ATAQUE CORROSIVO TANTO A LOS TANQUES DONDE SE PREPARA LA DISOLUCION, COMO A LAS TUBERIAS.

EL FOSFATO DISODICO ES DEBILMENTE ALCALINO, Y EL TRISODICO LO ES FUERTEMENTE.

PARA LAS CALDERAS QUE OPERAN A ALTA PRESION, LAS LIMITACIONES EN CUANTO A CONTENIDO DE SOLIDOS DISUELTOS VAN SIENDO MAS ESTRICTAS, ASI COMO TAMBIEN LA CALIDAD DE EL AGUA DE ALIMENTACION REQUIERE SER DE OPTIMA CALIDAD.

LA ALCALINIDAD CAUSTICA ES UNA DE LAS LIMITANTES MAS IMPORTANTES PARA EL USO DE UN FOSFATO EN UNA CALDERA DE ALTA PRESION.

ESA ALCALINIDAD PUEDE PROVENIR DE LA DESCOMPOSICION DE LOS CARBONATOS Y BICARBONATOS CONTENIDOS EN EL AGUA, O DE LA SOSA AGREGADA COMO PARTE DEL TRATAMIENTO PARA LA CORRECTA FORMACION DE LODOS NORMALES DE CALDERA.

UN CONTENIDO DE HIDROXIDO DE SODIO POR ENCIMA DE LOS 350 GRAMOS POR LITRO PUEDE OCASIONAR FRAGILIZACION CAUSTICA, ESTO ES, OCASIONA RESQUEBRAJAMIENTO EN LA ESTRUCTURA CRISTALINA DEL METAL

UNA MANERA DE ELIMINAR ESTE POSIBLE PROBLEMA, ES EL USAR FOSFATO DISODICO O TRISODICO, LOS CUALES APORTAN ALCALINIDAD NO CAUSTICA, SIEMPRE Y CUANDO SE CONTROLE LA RELACION DE PH-ORTOFOSFATO RESIDUAL EN EL AGUA DE LA CALDERA QUE VA DESDE 9.5-10 P.P.M., HASTA 10.2-15 P.P.M., LO CUAL ASEGURA EL MANTENER LA ALCALINIDAD CAUSTICA CERCANA A CERO, Y CON ESTO EVITAR CONDICIONES CORROSIVAS HACIA EL METAL

PARA ESTE CASO DE CALDERAS A ALTA PRESION, NO SE MENCIONA NINGUN CASO EN EL CUAL SE HAYA MODIFICADO EL TRATAMIENTO INTERNO.

SIN EMBARGO, DADO QUE ES DE GRAN IMPORTANCIA EL TRATAMIENTO QUIMICO INTERNO PARA LAS CALDERAS DE ALTA PRESION SI SE PUEDE MENCIONAR QUE LA UNICA ALTERNATIVA PARA ALTA PRESION ES EL USO DE UN FOSFATO DISODICO O TRISODICO, PUES UN TRATAMIENTO CON PRODUCTOS ORGANICOS (PROGRAMA DE SOLUBILIZACION) DEJA DE TENER APLICACION POR ARRIBA DE LAS 700 LIBRAS/PULGADA² APROXIMADAMENTE YA QUE EMPIEZA A EXISTIR DESCOMPOSICION DE ESTOS PRODUCTOS

DI MODIFICACIONES A LOS TRATAMIENTOS INICIALES.

PARA PODER TENER UN PUNTO DE REFERENCIA A LAS MODIFICACIONES A LOS TRATAMIENTOS DE AGUA INICIALES, EN ESTE INCISO, SE ANALIZARA EL CALCULO DEL TRATAMIENTO QUIMICO INICIAL, POSTERIOR, Y LAS MODIFICACIONES PROPUESTAS

d1) DE BAJA PRESION

1ER CASO:

CICLOS PERMISIBLES = C.

C SILICE [SiO₂] = 300/65 = 5,45

$$C. \text{ ALCALINIDAD TOTAL } [CaCO_3] = 750/310 \cdot 0.8 = 3.02$$

$$C. \text{ S.D.T. } = 5500/495 = 11.1$$

DE ESTOS VALORES SELECCIONAMOS EL VALOR MAS BAJO.

$$\% \text{ AGUA DE ALIMENTACION } = \% \text{ FW } = 100$$

$$1. - \% \text{ AGUA DE REPOSICION } = \% \text{ MU } = \% \text{ FW } - \% \text{ C } = 100 - 70 = 30$$

$$2. - \% \text{ PURGA } = \% \text{ B } = \% \text{ MU/C. } = 70/3.02 = 23.17$$

$$3. - \text{ VOLUMEN DE AGUA DE ALIMENTACION } = \text{ FW}$$

$$\begin{aligned} \text{FW} &= 100 \cdot \text{VAPOR GENERADO} [\text{KG/DIA}] / 100 - \% \text{ B} = 100 \cdot 81000 / 100 - 23.17 \\ &= 105,427.57 \text{ L/DIA.} \end{aligned}$$

$$4. - \text{ VOLUMEN DE AGUA DE REPOSICION } = \text{ MU}$$

$$\text{MU} = [\% \text{ MU} / 100] \cdot \text{FW} = [70 / 100] \cdot 105,427.57 = 73,799.29 \text{ L/DIA}$$

CALCULO DEL TRATAMIENTO INICIAL

A) FOSFATO DE SODIO:

$$[0.74 \cdot \text{CALCIO} + 40/C] \text{ MU} / 1 \cdot 10] = \text{KG/DIA} \quad (\text{ A.1 })$$

$$[0.74 \cdot 5 + 40/2.9] \cdot 73,799.297 / 1 \cdot 10 = 1.28 \text{ KG/DIA}$$

B) SULFATO DE SODIO:

$$40/C \cdot MU/1 \cdot 10 \cdot A = \text{KG/DÍA}$$

(B.1)

$$40/2.9 \cdot 73,799.29 \cdot 1.5 = 1.5 \text{ KG/DÍA}$$

- A - 1.0 [AGUA DE DEAIREADA]
- 1.5 [AGUA DE POZO + CONDENSADOS]
- 2.0 [AGUA MUNICIPAL + CONDENSADOS]

DE LA EC (A.1) :

0.74 = PARTES POR MILLON DE FOSFATO DE SODIO NECESARIAS PARA REACCIONAR CON 1 P.P.M. DE DUREZA DE CALCIO.

CALCIO = 5 = PARTES POR MILLON DE DUREZA DE CALCIO QUE PARA FINES DE CALCULO SE SELECCIONA COMO VALOR MAXIMO.

40 = P.P.M. PROMEDIO DE RESIDUAL DE ORTOFOSFATO QUE SE DESEA MANTENER EN EL AGUA DE LA CALDERA

COSTO DEL TRATAMIENTO INICIAL:

-FOSFATO DE SODIO=2.66 KG/DIA * 14,687 \$/KG. = 39,067.4 \$/DIA

-SULFITO DE SODIO=2.73 KG/DIA * 13,979 \$/KG = 38,162 \$/DIA

-AMINA FILMICA (MORFOLINA) = 3.36 KG/DIA * 18,422 \$/KG = 61,897.9 \$/DIA

TRATAMIENTO POSTERIOR

CON UN MAXIMO DE 5 P.P.M. DE DUREZA DE CALCIO EN LA REPOSICION, Y EN BASE A LA TABLA 1 PARA LIMITES SUGERIDOS DE PRODUCTO AMERPLEX (PRODUCTO ORGANICO) DE UN PROGRAMA DE SOLUBILIZACION SE TIENE EL CALCULO SIGUIENTE DEL TRATAMIENTO:

AMERPLEX 605 = [CONCENTRACION DE AMERPLEX EN LA CALDERA/C] * MU/1000000

= [240/3.02] * 73799.29/1000000 = 5.86 KG/DIA.

COSTO

$$\underline{5.86 \text{ KG/DIA} \cdot 7420 \text{ \$/KG} = 43.481 \text{ \$/DIA.}}$$

CON ESTE TRATAMIENTO DE SOLUBILIZACION, TRABAJANDO EN LA CALDERA DURANTE MEDIO AÑO, EL ESPESOR DE LA INCRUSTACION QUE INICIALMENTE ERA DE CASI 3/4 DE PULGADA SE DISMINUYO HASTA 1/16 DE PULGADA.

COMO SE PUEDE OBSERVAR AL COMPARAR LOS COSTOS DEL TRATAMIENTO MODIFICADO RESPECTO AL INICIAL SE INCREMENTA EN UN 8 %, QUE A DIFERENCIA DEL BENEFICIO OBTENIDO, NO ES SIGNIFICATIVO, PUES DE HABER LLEVADO A CABO UNA LIMPIEZA MECANICA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO, SE HUBIERA ELEVADO CONSIDERABLEMENTE EL COSTO, ADEMAS DEL TIEMPO PERDIDO Y PERDIDA DE PRODUCCION.

2o CASO

CICLOS PERMISIBLES=C.

$$C \text{ ALCALINIDAD TOTAL} = 750/300 \cdot 0.8 = 3.1$$

$$\% \text{ FW} = 100$$

$$1.- \% \text{ MU} = 100 - 50 = 50$$

$$2.- \% \text{ B} = 50 / 3.1 = 16.12$$

$$3.- \text{ FW} = [100 \cdot 45,159] / [100 - 16.12] = 53,837.62 \text{ L/DIA.}$$

$$4.- \text{ MU} = [50 / 100] \cdot 53,837.62 = 26,918.81 \text{ L/DIA}$$

CALCULO DEL TRATAMIENTO INICIAL

A).-FOSFATO DE SODIO

$$[0.74 \cdot 5 + (40 / 3.1)] \cdot 26,918.81 / 1000000 = 0.44 \text{ KG/DIA}$$

B).-SULFITO DE SODIO

$$[40 / 3.1] \cdot [26,918.81 / 1000000] \cdot 1.5 = 0.52 \text{ Kg /DIA}$$

COSTO

A).- FOSFATO DE SODIO

$$0.44 \text{ KG/DIA} \cdot 14,687 \text{ \$/KG.} = 6246 \text{ \$/DIA}$$

B).- SULFITO DE SODIO

$$0.52 \text{ KG/DIA} \cdot 13,979 \text{ \$/KG} = 7269 \text{ \$/DIA}$$

TRATAMIENTO POSTERIOR

DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DE EXPERTOS EN TRATAMIENTOS DE AGUA DE CALDERAS, SE SABE QUE EL TRATAMIENTO PARA CALDERAS DE BAJA PRESION SE PERMITE FUGA HASTA DE 60 P.P.M. DE DUREZA TOTAL, Y EL TRATAMIENTO DE FOSFATO NO CONTEMPLA EL USO DE ALGUN POLIMERO COMO DISPERSANTE DE LODOS.

EN ESTE CASO DE ACUERDO A LO ENCONTRADO EN LA INSPECCION VISUAL DE LA CALDERA, SE PROPUSO EL USO DE UN AGENTE ORGANICO DISPERSANTE DE LODOS

POR OTRA PARTE SE LIMITA A 5 P.P.M MAXIMO EL PASO DE DUREZA DE CALCIO DEL PROCESO DE SUAVIZACION HACIA LA CALDERA, Y SE CONTEMPLA EL USO DE UNA AMINA NEUTRALIZANTE COMO TRATAMIENTO DE NEUTRALIZACION DE ACIDEZ EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS.

TABLA 1

CONCENTRACION DE AMERPLEX EN CALDERA

CALCIO EN LA CALDERA	AMERPLEX 605 ó 705 (P.P.M)	
	Fe BW < 1	Fe BW > 1
0-5	100-200	160-240
5-10	200-400	240-440
10-15	400-500	440-540
15-20	500-600	540-640
20-25	600-700	640-740
25-75	800-1000	850-1050

AMERPLEX 605.705

KG. DE AMERPLEX = (CONCENTRACION DE AMERPLEX EN LA CALDERA/CICLOS DE CONCENTRACION) X (KG DE AGUA DE REPOSICION/10⁶)

CALCULO DEL TRATAMIENTO

- A).-FOSFATO DE SODIO = FOSFATO DE SODIO INICIAL = 0.44 KG/DÍA
- B).-SULFITO DE SODIO = SULFITO DE SODIO INICIAL = 0.52 KG/DIA
- C) -DREWPLEX 505 = [150 / C] * MU / 1000000 = KG/DIA EC (C.1)

DE LA EC (C.1)

150 = P.P.M. DE PRODUCTO RECOMENDADO EN EL AGUA DE LA CALDERA

D).- AMINA NEUTRALIZANTE (CICLOHEXILAMINA) AMERCOR 8720

[0.35 * ALCALINIDAD TOTAL MU] * [%MU/1000000] * 0.8 MU/1000000 EC. (D.1)

[0.35 * 300] * [50 /100] * [0.8 * 26,918.81 / 1000000] = 1.13 KG/DIA

DE LA EC (D.1)

0.35 = P.P.M. DE CICLOHEXILAMINA NECESARIA PARA NEUTRALIZAR 1 P.P.M. DE ALCALINIDAD TOTAL E INHIBIR LA FORMACION DE ACIDO CARBONICO EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS.

COSTO

A).-FOSFATO DE SODIO

$$0.44 \text{ KG/DIA} * 14,687 \text{ \$/KG} = 6462 \text{ \$/DIA}$$

B).-SULFITO DE SODIO

$$0.52 \text{ KG/DIA} * 13,979 \text{ \$/KG} = 7269 \text{ \$/DIA}$$

C).-DREWPLEX 505

$$1.3 \text{ KG/DIA} * 9957 \text{ \$/KG} = 12,944 \text{ \$/DIA}$$

D).-AMERCOR 8720

$$1.13 \text{ KG/DIA} * 29,714 \text{ \$/KG} = 33,576.8 \text{ \$/DIA}$$

COMO SE PUEDE APRECIAR, SE INCREMENTA EL COSTO DEL TRATAMIENTO POSTERIOR 3.4 VECES MAS RESPECTO AL INICIAL, PERO DESPUES DE MEDIO AÑO DE TRABAJAR CON ESTE TRATAMIENTO, YA NO EXISTE DEPOSITO SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS TUBOS DE LA CALDERA, NI ACUMULAMIENTO DE LODO, ADEMAS DE HABERSE ELIMINADO TOTALMENTE LOS OXIDOS DE FIERRO TANTO EN EL INTERIOR DE LA CALDERA, COMO EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS.

D.2) CASOS PARA CALDERAS DE MEDIANA PRESION

1).- 1ER CASO

CICLOS PERMISIBLES = C

$$C \text{ SILICE} = 300/60 = 5.0$$

$$\% \text{ FW} = 100$$

$$1.- \quad \% \text{MU} = 100 - 30 = 70$$

$$2.- \quad \% \text{B} = 70 / 5.0 = 14$$

$$3.- \quad \text{FW} = [100 * 280,000] / 100 - 14 = 325,581.39 \text{ L/DIA}$$

$$4.- \quad \text{MU} = [70 / 100] * 325,581.39 = 227,906 \text{ L/DIA}$$

CALCULO DEL TRATAMIENTO INICIAL

A).- FOSFATO DE SODIO

$$[0.74 * 5 + (40 / 5.0)] * 227,906 / 1000000 = 2.66 \text{ KG/DIA}$$

B).-SULFITO DE SODIO

$$[40 / 5] * [227,906 / 1000000] * 1.5 = 2.73 \text{ KG/DIA}$$

C).-AMINA FILMICA (AMERCOR MARK III)

VAPOR GENERADO (KG/DIA) * X / 1000000 EC (E.1.)

DE LA EC. (E.1) X = TIEMPO DE RETENCION DE LA AMINA EN LA
LINEA DE CONDENSADOS

= 7-15 MINUTOS (USUAL DE 12)

[280,000 * 12] / 1000000 = 3.36 KG/DIA

COSTO

A).- FOSFATO DE SODIO

2.66 KG/DIA * 14,687 \$/KG = 39,067 \$/DIA

B).- SULFITO DE SODIO

2.73 KG/DIA * 13,979 \$/KG = 38,067 \$/DIA

C).- AMERCOR MARKIII

3.36 KG/DIA * 18,422 \$/KG = 61,897 \$/DIA

D).- DREWPLEX 505

6,8 KG/DIA * 6,813 \$/KG = 46,328 \$/DIA

EN ESTE CASO SE TUVO UN INCREMENTO DEL 25%, PERO SIN EMBARGO, DESPUES DE OPERAR UN AÑO CON EL TRATAMIENTO MODIFICADO, SE ELIMINO CASI TOTLAMENTE EL DEPOSITO DE SOLIDOS ENCONTRADOS INICIALMENTE SIN EL USO DE DL DISPERSANTE DE LODOS, Y NO EXISTE ACUMULACION DE ESTOS.

2).- 20 CASO

CICLOS PERMISIBLES = C

$$C \text{ ALCALINIDAD TOTAL} = 750 / 0.8 * 100 = 9.3$$

$$\% \text{ FW} = 100$$

$$1.- \quad \% \text{ MU} = 100 - 30 = 70$$

$$2.- \quad \% \text{ B} = 70 / 9.3 = 7.52$$

$$3.- \quad \text{FW} = [100 * 576,000] / 100 - 7.52 = 622,837.37 \text{ L/DIA}$$

$$4.- \quad \text{MU} = [70/100] * 622,837 = 435,986 \text{ L/DIA}$$

CALCULO TRATAMIENTO INICIAL

A).- FOSFATO DE SODIO

$$[0.74 * 5 + (40/9.3)] * 435,986/1000000 = 3.48 \text{ KG/DIA}$$

B).- SULFITO DE SODIO

$$[40/9.3] * 435,986/1000000 = 2.8 \text{ KG/DIA}$$

COSTOS

A).- FOSFATO DE SODIO

$$3.48 \text{ KG/DIA} * 14,687 \text{ \$/KG} = 51,110 \text{ \$/DIA}$$

B).-SULFITO DE SODIO

$$2.8 \text{ KG/DIA} * 13,979 \text{ \$/KG} = 39,149 \text{ \$/DIA}$$

TRATAMIENTO POSTERIOR

AL CAMBIAR DE UN PROGRAMA DE PRECIPITACION CON FOSFATO A UN PROGRAMA DE SOLUBILIZACION, DESPUES DE UN AÑO DE FUNCIONAMIENTO, DISMINUYO LA INCRUSTACION CASI TOTALMENTE LO CUAL BAJO EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA GENERACION DE VAPOR.

CALCULO DEL TRATAMIENTO POSTERIOR

A).- AMERPLEX 705

$$[100 \cdot 435,986] / 9.3 \cdot 1'000,000 = 4.68 \text{ KG/DIA}$$

B).- SULFITO DE SODIO

= 2.8 KG/DIA (CALCULADO EN EL TRATAMIENTO INICIAL)

COSTOS

A).- AMERPLEX 705

$$4.68 \text{ KG/DIA} \cdot 6599 \text{ \$/KG} = 30,883 \text{ \$/DIA}$$

B).-SULFITO DE SODIO

= 39,141 \\$/DIA (CALCULADO EN EL TRATAMIENTO INICIAL)

3ER CASO

EN ESTE CASO SE CAMBIO EL SECUESTRANTE DE OXIGENO, Y SE INCLUYO EL USO DE UN AGENTE ORGANICO COMO DISPERSANTE DE LODOS, Y SE DISMINUYO LA ALCALINIDAD TOTAL EN EL AGUA DE LA CALDERA DESDE UN RANGO DE 250-600 P.P.M, HASTA UN RANGO DE 250-400 P.P.M., Y DESPUES DE UN AÑO DE TRABAJO SE PUDO APRECIAR QUE LOS SOLIDOS YA NO APARECIERON DEPOSITADOS EN LOS ALABES DE LA TURBINA; COMO SE PUEDE VER, DE ACUERDO A LOS LIMITES RECOMENDADOS POR LOS ESPECIALISTAS EN TRATAMIENTOS DE AGUA PARA CALDERA, SE TUVO QUE HACER UNA MODIFICACION A ESTOS LIMITES, MARCADOS PARA LA ALCALINIDAD TOTAL EN CUANTO AL COSTO DEL TRATAMIENTO QUIMICO SE REDUJO LA DOSIFICACION DE ALCALINIZANTE, Y SE ANULO LA POSIBILIDAD DE TENER UN PROBLEMA SERIO EN LA TURBINA, E INTERIOR DE LA CALDERA, QUE HUBIERA SIDO DE CONSECUENCIAS Y PERDIDAS ECONOMICAS BASTANTE CONSIDERABLES.

4TO CASO

$$\% \text{ FW} = 100$$

$$1.- \quad \% \text{ MU} = 100 - 30 = 70$$

$$2.- \quad \% \text{ B} = 70 / 40 = 1.75$$

$$3.- \quad \text{FW} = [2'400,000 \cdot 100] \cdot 100-1.75 = 2'442,748 \quad \text{L/DIA}$$

$$4.- \quad \text{MU} = [70 / 100] \cdot 2'442,748 = 1'709,924 \quad \text{L/DIA}$$

$$\text{VAPOR GENERADO} = 2'400,000 \text{ KG/DIA}$$

P. OPERACION = 40 KG/CM2

% REC. CONDENSADOS = 30

COMO BASE DE CALCULO PARA EL TRATAMIENTO Y OPERACION SE PROPUSIERON 40 CICLOS DE CONCENTRACION

CALCULO DE TRATAMIENTO INICIAL

A).- FOSFATO DE SODIO

$$[0.74 * 0 + (40/40)] * 1'709,924 / 1000000 = 1.7 \text{ KG/DIA}$$

B).- HIDRAZINA

$(2.86 * \text{P.P.M O}_2) + (0.14 * \text{P.P.M. FE}) + (0.36 * \text{P.P.M. CU}) +$
RESIDUAL DE HIDRAZINA RECOMENDADO EN EL AGUA DE CALDERA/C EC. (F.1)

$$(2.86 * 0.3) + (0.14 * 0.1) + 0 + 0.5 / 40 = 0.88 \text{ KG/DIA}$$

C).- ACONDICIONADOR DE LODOS

SE ESTABA DOSIFICANDO SIN CALCULAR LA CANTIDAD REQUERIDA EN UNA CANTIDAD DE 3 KG/DIA

D).- CICLOHEXILAMINA

TAMBIEN SE DOSIFICABA SIN CALCULO DE LA DOSIS REQUERIDA, EN LA CANTIDAD DE 3 KG/DIA

CALCULO DEL TRATAMIENTO POSTERIOR

A).- AMERPLEX 615

EN BASE A LA TABLA 1 PARA CONTENIDO DE PRODUCTO EN EL AGUA DE LA CALDERA
SE SELECCIONAN 240 P.P.M. DE AMERPLEX:

$$[240 * 1'709,924] / 40 * 1000000 = 10.250 \text{ KG/DIA}$$

B).-AMERCOR 8720

$$0.35 * 10 * [70 / 100] * [0.8 * 1'709,924 / 1000000] = 3.350 \text{ KG/DIA}$$

COSTOS

A).- AMERPLEX 615

$$10.250 \text{ KG/DIA} * 7261 \text{ \$/KG} = 74,425 \text{ \$/DIA}$$

B).- AMERCOR 8720

$$3.350 \text{ KG/DIA} * 43,428 \text{ \$/KG} = 145,483 \text{ \$/DIA}$$

EN ESTE CUARTO CASO SE DISMINUYERON LOS COSTOS DEL TRATAMIENTO QUIMICO CON LA MODIFICACION, ADEMAS DE QUE LOS TUBOS DE LA CALDERA ASI COMO LOS DOMOS SE LIMPIARON CASI TOTALMENTE DE LA INCRUSTACION PROVOCADA CON EL TRATAMIENTO DE PRECIPITACION DE FOSFATO, DESPUES DE UN AÑO DE ESTAR OPERANDO CON ESTE TRATAMIENTO QUIMICO.

MODIFICACIONES A LAS FORMULACIONES INICIALES

PARA TENER UN PUNTO DE REFERENCIA, A CONTINUACION SE DAN LAS CONCENTRACIONES UTILIZADAS EN LAS FORMULACIONES QUE SE UTILIZARON PARA MANTENER LIBRE DE INCRUSTACION Y CORROSION LAS CALDERAS, ADEMAS DE ELIMINAR LOS DEPOSITOS OCASIONADOS CON LOS TRATAMIENTOS QUIMICOS INICIALES.

SECUESTRANTES DE OXIGENO

- - SULFITO DE SODIO ANHIDRO
- - HIDRAZINA AL 40%

INHIBIDORES DE INCRUSTACION

- - FOSFATO DE SODIO
- - AMERPLEX 605 (LIGNOSULFONATO AL 50%)
- - AMERPLEX 705 (LIGNOSULFONATO AL 40%)
- - DREWPLEX 505 (LIGNOSULFONATO AL 45%)

AMINAS

- - AMERCOR 8720 (CICLOHEXILAMINA AL 60%)
- - AMERCOR MARK III (MORFOLINA AL 50%)

EN BASE A LA EXPERIENCIA EN EL MANEJO DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES PARA EL TRATAMIENTO INTERNO DE AGUA PARA CALDERAS, SE HAN HECHO LAS MODIFICACIONES SIGUIENTES:Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS SON SATISFACTORIOS LO CUAL PERMITE ABATIR LOS GASTOS POR MANTENIMIENTO Y MANO DE OBRA AL EVITAR INCRUSTACION Y CORROSION DE LOS SISTEMAS QUE GENERAN VAPOR.

DE ACUERDO A LA PRESION DE OPERACION Y A LA EXPERIENCIA SE PROPONEN LAS MODIFICACIONES ANOTADAS A CONTINUACION:

BAJA PRESION.-

PROGRAMA.- PRECIPITACION O SOLUBILIZACION.

SECUESTRANTES DE OXIGENO.

SULFITO DE SODIO (NO EXISTE MODIFICACION).

INHIBIDOR DE INCRUSTACION.-

FOSFATO DE SODIO (NO EXISTE MODIFICACION).

*AMERPLEX 605 (LIGNOSULFONATO AL 55%).

*DREWPLEX 505 (LIGNOSULFONATO AL 60%).

*EL USO DE ESTAS CONCENTRACIONES MAS ALTAS CON RESPECTO A LAS INICIALES,PERMITIERON TENER EN LOS CASOS EN DONDE SE PARTIO DE CALDERAS CON CIERTO GRADO DE INCRUSTACION,

ELIMINAR CASI EN SU TOTALIDAD ESOS DEPOSITOS EN UN PLAZO APROXIMADAMENTE DE SEIS MESES EN OPERACION CONTINUA, DESPUES DE LOGRAR ESTO ANTERIORMENTE, EN UN LAPSO DE UN AÑO.

MEDIANA PRESION.-

PROGRAMA.- SOLUBILIZACION.

SECUESTRANTES DE OXIGENO.

SULFITO DE SODIO (NO EXISTE MODIFICACION).

*HIDRAZINA AL 30% CATALIZADA CON 0.2% DE UNA SAL DE COBALTO

*EN ESTE CASO, SE DISMINUYO LA CONCENTRACION DE HIDRAZINA RESPECTO A LA INICIAL Y SE UTILIZO UN CATALIZADOR, LO CUAL PERMITIO ACELERAR LA VELOCIDAD DE REACCION CON EL OXIGENO DISUELTO CONTENIDO EN EL AGUA DE CALDERA, Y ESTO A SU VEZ AYUDO A PASIVAR LAS SUPERFICIES METALICAS TANTO EN EL INTERIOR, COMO EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS QUE YA TENIAN UN CIERTO GRADO DE CORROSION. EN APROXIMADAMENTE DOS MESES SE LOGRO MANTENER EL CONTROL DEL FENOMENO DE CORROSION, LO CUAL SE PUDO EVALUAR POR MEDIO DE LA DETERMINACION DE FIERRO DISUELTO EN EL AGUA

INHIBIDOR DE INCRUSTACION.-

AMERPLEX 605 (LIGNINA SOLUCION AL 60%).

AMINAS.-

AMERCOR MARK III (MORFOLINA AL 45%), PARA CALDERAS QUE OPERAN DE 100 A 300 PSIG.

AMERCOR 8720 (CICLOHEXILAMINA AL 50 %) PARA CALDERAS QUE OPERAN DE 300 A 600 PSIG.

ALTA PRESION.-

PROGRAMA.- PRECIPITACION

SECUESTRANTES DE OXIGENO.

HIDRAZINA AL 35% CATALIZADA CON 0.2% DE UNA SAL DE COBALTO

INHIBIDOR DE INCRUSTACION.-

FOSFATO TRISODICO

AMINAS.-

AMERCOR 8720 (SOLUCION DE CICLOHEXILAMINA AL 50 %) PARA CALDERAS QUE OPERAN ARRIBA DE 700 PSIG.

NOTA: COMO SE PUEDE APRECIAR, CONFORME VA INCREMENTANDO LA PRESION DE OPERACION, LAS CONCENTRACIONES DE LAS FORMULACIONES EN LA MAYORIA DE LOS CASOS SE VAN INCREMENTANDO, YA QUE AUNQUE LOS CUIDADOS EN CUANTO A CONTENIDO DE SOLIDOS

DISUELTOS VA SIENDO MAS ESTRICTO EL CONTROL QUIMICO INTERNO EN EFECTIVIDAD DEBE SER MAS PRECISO PARA NO DAR LUGAR A LOS PROBLEMAS DE CORROSION Y/O INCRUSTACION.

COMO PARTE IMPORTANTE PARA LA OBTENCION DE LOS MEJORES RESULTADOS EN LAS CALDERAS, SE TUVO EL MANTENER LAS PURGAS, TANTO LA CONTINUA PARA EL CONTROL DE LOS SOLIDOS DISUELTOS, COMO LA DE FONDO PARA LA ELIMINACION DE LOS LODOS GENERADOS POR ACCION QUIMICA DE LOS TRATAMIENTOS (EN ESPECIAL POR UN PROGRAMA DE PRECIPITACION), TODO ESTO BASADO EN LOS LIMITES SUGERIDOS POR LOS EXPERTOS Y FABRICANTES DE DE PRECIPITACION), TODO ESTO BASADO EN LOS LIMITES SUGERIDOS POR LOS EXPERTOS Y FABRICANTES DE CALDERAS.

EL TIEMPO MINIMO DE ACUERDO A A.S.T.M. PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE UN PROGRAMA DE TRATAMIENTO QUIMICO ES DE TRES MESES, Y ESA EFECTIVIDAD FUE CONFIRMADA POR UNA INSPECCION VISUAL EN DONDE SE MIDIO EL GRADO DE INCRUSTACION Y CORROSION EN EL INTERIOR DE LAS CALDERAS, SIN EMBARGO UN INDICIO DE QUE LA FUNCIONALIDAD DEL TRATAMIENTO IBA POR BUEN CAMINO Y QUE SIRVE COMO CRITERIO PARA CORREGIR DEFICIENCIAS, ES LA CUANTIFICACION O ANALISIS CUANTITATIVO DEL TRATAMIENTO QUIMICO, EN LO REFERENTE A INHIBIDORES DE INCRUSTACION MEDIDOS COMO RESIDUAL DE ORTOFOSFATO (PARA EL CASO DE UN PROGRAMA DE PRECIPITACION), Y CONCENTRACION DE PRODUCTO ORGANICO (PARA EL CASO DE UN PROGRAMA DE SOLUBILIZACION: SECUESTRANTES DE OXIGENO MEDIDO COMO RESIDUAL DE HIDRAZINA O DE SULFITO SEGUN SEA EL CASO. TODO LO ANTERIOR REFERENTE AL TRATAMIENTO QUIMICO INTERNO.

POR LO QUE RESPECTA A LA SECCION POST-CALDERA, ESTO ES, LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS, LA EFECTIVIDAD DE LAS AMINAS SE EVALUO POR MEDIO DE LA MEDICION DEL PH COMO CONTROL INSTANTANEO, Y A LARGO PLAZO POR MEDIO DE TESTIGOS DE CORROSION Y FINALMENTE POR LA INSPECCION VISUAL; TODO LO MENCIONADO, CLARO ESTA, MANTENIENDO LOS

NIVELES Y/O RESIDUALES DE CADA INHIBIDOR YA FUESE DE CORROSION O INCRUSTACION DENTRO DE LOS LIMITES SUGERIDOS POR LAS TABLAS QUE MARCAN LOS EXPERTOS.

CUANDO SE TIENE UN CIERTO GRADO DE CORROSION EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS , ES RECOMENDABLE INICIAR UN TRATAMIENTO CON AMINA NEUTRALIZANTE Y DESPUES ESTUDIAR LA POSIBILIDAD DE CAMBIAR A LA AMINA FILMICA PARA CONTROLAR TOTALMENTE LA CORROSION.

CABE SEÑALAR QUE LO QUE MARCA LA DIFERENCIA ENTRE LA EFECTIVIDAD E INEFECTIVIDAD DE LOS PROGRAMAS DE TRATAMIENTO QUIMICO, ES LA CONCENTRACION DE LA MATERIA PRIMA EMPLEADA EN LAS FORMULACIONES LO CUAL SE VARIA DE ACUERDO A LIMITES PERMISIBLES AVALADOS POR EXPERIMENTACION EN EQUIPOS PILOTO Y QUE FINALMENTE PERMITIERON OBTENER LOS MEJORES RESULTADOS SIN INCREMENTAR DEMASIADO LOS COSTOS DEL MISMO..

FIG.6 B GRAFICA TRATAMIENTO FOSFATO - HIDROXIDO

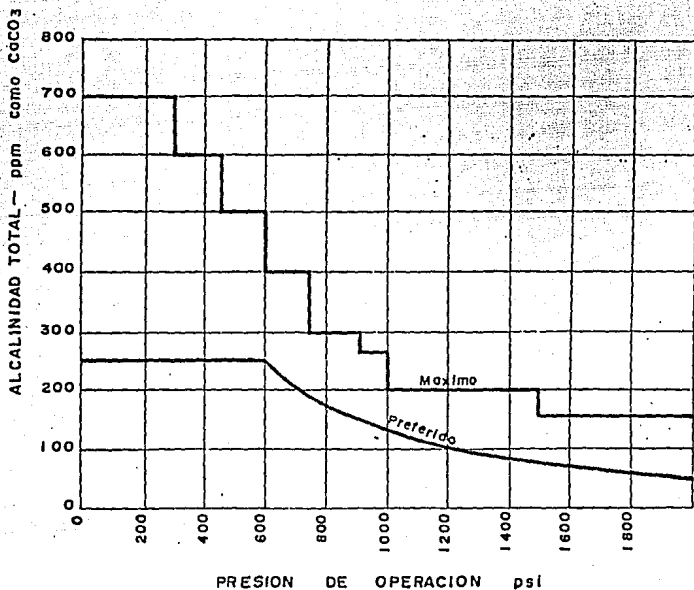
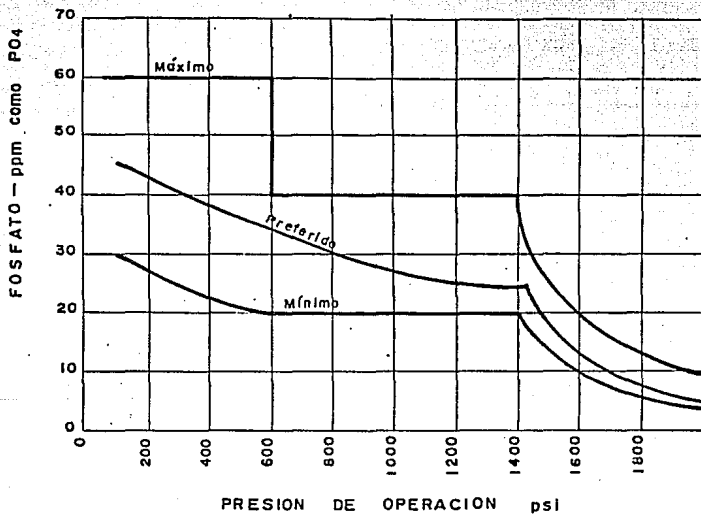


FIG.6 C TRATAMIENTO FOSFATO - HIDROXIDO



CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

EL AGUA COMO SABEMOS ES UN ELEMENTO DE LA NATURALEZA QUE SE ENCUENTRA EN SU MAYOR PARTE DISPONIBLE EN EL ESTADO LIQUIDO, CONTENIENDO UNA GRAN CANTIDAD DE CONTAMINANTES LOS CUALES PARA USOS DE GENERACION DE VAPOR Y DE ENFRIAMIENTO REQUIEREN SER REMOVIDOS PARA QUE NO OCASIONEN LOS PROBLEMAS DE CORROSION E INCRUSTACION DE LOS QUE SE HABLO EN CAPITULOS ANTERIORES. PARA REMOVER TALES CONTAMINANTES DEBE SER SELECCIONADO EL PRETRATAMIENTO MAS ADECUADO QUE NOS PERMITA MANTENER LOS COSTOS MAS BAJOS ASEGURANDO SIEMPRE OBTENER MEJORES RESULTADOS EN LA ACTUALIDAD LOS PRETRATAMIENTOS MAS EMPLEADOS SON A BASE DEL USO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO, PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA PARA FINES DE GENERACION DE VAPOR; Y SUAVIZACION PARCIAL EN ALGUNOS CASOS, PARA FINES DE ENFRIAMIENTO. ES BUENO MENCIONAR QUE CADA CON EL PASO DEL TIEMPO LAS CONDICIONES AMBIENTALES SE VAN DETERIORANDO MAS Y CON ESTO LA CALIDAD DEL AGUA VA SIENDO DE MAS MALA CALIDAD, ESTO ES, ALGUNOS CONTAMINANTES CONTENIDOS EN ELLA, VAN TENIENDO MAYOR CONCENTRACION (POR EJEMPLO; METALES COMO FIERRO EN FORMA DE OXIDOS Y CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA) QUE DEBERAN SER TOMADOS EN CUENTA YA QUE REPRESENTAN UN PROBLEMA PARA LA CONTAMINACION O ENVENENAMIENTO PREMATURO PARA LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO. SIN EMBARGO EL USO DE ESTAS MATERIALES REPRESENTAN EN EL MAYOR DE LOS CASOS LA MEJOR OPCION Y QUE MENOS PROBLEMAS TIENEN EN LA OPERACION DE LOS EQUIPOS. ES IMPORTANTE SEÑALAR QUE PARA EL CASO DEL ACONDICIONAMIENTO DE NUESTRA AGUA PARA FINES DE GENERACION DE VAPOR EL USO DE LA RESINA DE INTERCAMBIO ES MEDIANTE EL PROCESO DE DESMINERALIZACION, RECOMENDADO PARA CALDERAS DE MEDIANA Y ALTA PRESION. Y PARA CALDERAS DE BAJA PRESION BASTA CON UNA SUAVIZACION COMPLETA.

EN LO QUE SE REFIERE A LA ELIMINACION DE GASES DISUELTOS, PARA EL USO DE EL AGUA EN CALDERAS DE MEDIANA Y ALTA PRESION ES RECOMENDABLE EL USO DE UN MEDIO MECANICO

COMO LO ES UN DEAIREDOR, SEGUIDO DE UN MEDIO QUIMICO COMO LO ES ES EL EMPLEO DE SULFITO DE SODIO O LA HIDRAZINA, ASEGURANDO QUE SEAN ESTOS CATALIZADOS CON SALES DE COBALTO QUE AUNQUE REPRESENTA UN COSTO FUERTE PARA EL TRATAMIENTO INTERNO A LARGO PLAZO ESTO DA MAS BENEFICIOS, LO CUAL JUSTIFICA EL GASTO DE EL CATALIZADOR. CABE SEÑALAR QUE DE ESTOS DOS SECUESTRANTES DE OXIGENO LA HIDRAZINA REPRESENTA UN COSTO MAS ALTO QUE EL SULFITO DE SODIO, SIN EMBARGO PROPORCIONA MAYORES BENEFICIOS EN CALDERAS DE BAJA PRESION ES SUFICIENTE EL EMPLEO DE EL SULFITO DE SODIO, AUN SIN CATALIZAR.

POR LO QUE RESPECTA A LA SELECCION DEL PROGRAMA, ES IMPORTANTE TENER INFORMACION VERAZ DE LAS CONDICIONES INTERNAS DE LA CALDERA PAR LA CUAL SE VA RECOMENDAR, PUES SI SE CUENTA CON UNA CALDERA LIBRE DE INCRUSTACION Y CORROSION, PUDIERA SER ACEPTABLE CUALQUIER PROGRAMA, YA SEA DE SOLUBILIZACION, O DE QUELANTE PARA CALDERAS DE MEDIANA Y BAJA PRESION. PRECIPITACION O SOLUBILIZACION O DE QUELANTES PARA BAJA PRESION Y DE FOSFATO-PH COORDINADO O CONGRUENTE PARA CALDERAS DE ALTA PRESION. PARA LA SELECCION DEL PROGRAMA, DE LOS QUE SE PLANTEAN ARRIBA DEBERA DE LLEVARSE A CABO UNA COMPARACION EN EL COSTO QUE REPRESENTA CADA UNO DE ELLOS Y ELEGIR EL QUE MAS CONVENGA.

CUANDO SE PARTE DE UNA CALDERA CON CIERTO GRADO DE CORROSION Y/O INCRUSTACION, SI OPERA A BAJA O MEDIANA PRESION ES CONVENIENTE SELECCIONAR UN PROGRAMA DE SOLUBILIZACION PARA LLEVAR A CABO UNA LIMPIEZA GRADUAL CON EL TRATAMIENTO PROPUESTO Y CON EL TIEMPO SE PUEDE EVALUAR LA POSIBILIDAD DE CAMBIARLO. PARA CALDERAS DE ALTA PRESION CON CIERTO GRADO DE CORROSION Y/O INCRUSTACION ES MAS CONVENIENTE LLEVAR A CABO UNA LIMPIEZA QUIMICA CON ACIDOS CONTENIENDO UN INHIBIDOR PARA NO CAUSAR ALGUN ATAQUE EN LA ESTRUCTURA DEL METAL.

OTROS FACTORES A SER TOMADOS EN CUENTA PARA ASEGURAR EL EXITO DEL PROGRAMA DE TRATAMIENTO QUIMICO ,SON:

- - EL CHECAR QUE SE DOSIFIQUEN LOS PRODUCTOS QUIMICOS QUE COMPONEN EL TRATAMIENTO, EN LAS CANTIDADES CALCULADAS Y EN FORMA CONSTANTE LA ALIMENTACION DE ESTOS
- - EL LLEVAR UNA EVALUACION CONSTANTE DE LAS CONDICIONES QUIMICAS DE EL AGUA EN EL INTERIOR DE LA CALDERA. ESTO INVOLUCRA DIRECTAMENTE A LOS CICLOS DE CONCENTRACION (CONTENIDO DE SOLIDOS DISUELTOS EN EL AGUA)
- - ASEGURARSE DE MANTENER DENTRO DE LIMITES LA CALIDAD DE EL AGUA EN EL INTERIOR DE LA CALDERA DE ACUERDO A LO QUE MARCAN LOS EXPERTOS Y FABRICANTES
- - SEGUIR PASO A PASO, LAS RECOMENDACIONES O AJUSTES QUE INDICA EL FABRICANTE DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS, DESPUES DE HACER UN ANALISIS COMPLETO DE EL AGUA DE LA CALDERA.

ES DE GRAN IMPORTANCIA TAMBIEN EL TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE EL FENOMENO DE LA CORROSION EN LAS LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADOS LO CUAL DE NO ASEGURAR BUEN CONTROL, REPERCUTIRIA EN LOS RESULTADOS EN EL INTERIOR DE LA CALDERA, AUN A PESAR DE LLEVAR UN BUEN CONTROL EN EL TRATAMIENTO INTERNO.

EL USO DE UNA MEZCLA DE AMINAS FILMICA Y NEUTRALIZANTE RESULTA SER EN CUANTO A COSTOS MAS ALTO QUE SI SE UTILIZARA CADA UNA DE ELLAS POR SEPARADO. PERO UNA MEZCLA DE ESTAS ASEGURAN EN FORMA PERMANENTE UN EXCELENTE CONTROL AL FENOMENO DE LA CORROSION EN DONDE NO EXISTEN LIMITACIONES EN EL USO DE AMINAS, BIEN VALE LA PENA TENER UN BUEN PROGRAMA DE TRATAMIENTO QUIMICO INTERNO, ASI COMO SELECCIONAR EL PRETRATAMIENTO MAS ADECUADO AUNQUE APARENTEMENTE REPRESENTA UN COSTO ALTO, PUES A LARGO PLAZO, AL NO TENER QUE PARAR LOS EQUIPOS POR PROBLEMAS DE CORROSION Y/O INCRUSTACION HACIENDO UN BALANCE ECONOMICO RESULTA UN GRAN AHORRO PARA EL

INDUSTRIAL EL MANTENER LIMPIOS LOS EQUIPOS. PUES DE OTRA FORMA SE HARIA UN GASTO EXCESIVO POR PERDIDA DE PRODUCCION Y EL COSTO POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

EN LAS MODIFICACIONES HECHAS A LAS FORMULACIONES UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO A EL AGUA PARA LAS CALDERAS SE TIENE UN INCREMENTO LIGERO A LOS COSTOS POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PERO QUE A FIN DE CUENTAS PROPORCIONARON BENEFICIOS POR MANTENER LIBRES DE CORROSION E INCRUSTACION LOS EQUIPOS.

CAPITULO 8
BIBLIOGRAFIA

- 1) NALCO DE MEXICO, S.A. DE C.V.
"PRINCIPIOS BASICOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS"
MEXICO D.F. ABRIL DE 1970.

- 2) SHEPPARD T. POWELL
"ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA"
IMPRESIONES EDITORIALES, S.A. MEXICO D.F., AGOSTO 1986

- 3) AQUATEC. (JAMES N. TANIS)
"PROCEDURES OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT."
LTAN INC. RIDGEFIELD, CONNECTICUT 06877.
FIRST EDITION 1987.

- 4) DREW CHEMICAL CORPORATION.
"DREW PRINCIPLES OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT."
ONE DREW CHEMICAL PLAZA BOONTON, NEW JERSEY 07005.
EIGHTH EDITION U.S.A.,1985.

- 5) THE INTERNATIONAL CORROSION FORUM DEVOTED EXCLUSIVELY TO THE
PROTECTION AND PERFORMANCE OF MATERIALS
"CORROSION 86."
N.A.C.E., PUBLICATIONS DEPT., P.O.BOX, HOUSTON, TEXAS 77218.
U.S.A., 1986.

- 6) NALCO, S.A. DE C.V.
"TECHNIFAX (APLICACIONES, PROCEDIMIENTOS, RECOMENDACIONES,
OBSERVACIONES)"
MEXICO D.F.
- 7) DREW CHEMICAL CORPORATION
"WATER & WASTE TREATMENT DIVISION PRETREATMENT TRAINING MANUAL"
ONE DREW CHEMICAL PLAZA, BOONTON, NEW JERSEY 07005
U.S.A., 1979.
- 8) A.S.M.E. (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.)
"CONSENSUS ON OPERATING PRACTICES FOR THE CONTROL OF FEEDWATER AND
BOILER WATER QUALITY IN MODERN INDUSTRIAL BOILERS."
UNITED ENGINEERING CENTER 345 EAST 47TH STREET,
NEW YORK, N.Y., 10017
U.S.A., 1979.
- 9) DREW CHEMICAL CORPORATION
"FIELD SERVICE PROCEDURES INDUSTRIAL WATER TREATMENT"
ONE DREW CHEMICAL PLAZA, BOONTON, N.Y. 07005
U.S.A., 1979..
- 10) DREW CHEMICAL CORPORATION
"TRAINING MANUAL VOLUME 2"
ONE DREW CHEMICAL PLAZA, BOONTON, N.Y. 07005
U.S.A., 1980..