

300618
23
24

UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



"PROYECTO DE UN ESTUDIO TECNICO ECONOMICO AL
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y RECIRCULACION
DE AGUA PARA LA CALDERA DE LA HACIENDA "LA VENTILLA"
EN ALCHOLOYA, ESTADO DE HIDALGO"

TESIS PROFESIONAL

QUE, PARA OBTENER EL TITULO DE,
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A,
ADOLFO PORTOCARRERO RESENDIZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. BERTHA CONTRERAS NAVARRO

MEXICO, D. F.,

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

INDICE

CAPITULO I. OBJETIVOS	1
1.1 <i>Objetivos generales.</i>	1
1.2 <i>Objetivos específicos.</i>	1
CAPITULO II. INTRODUCCION.	3
2.1 <i>Antecedentes.</i>	3
2.2 <i>Descripción del problema.</i>	4
2.3 <i>Descripción del lugar de realización del proyecto.</i>	6
2.4 <i>Generalidades sobre Tratamiento de Agua para calderas.</i>	8
2.4.1 <i>Impurezas más comunes en el agua que provocan daños a las calderas; efectos y operaciones para su eliminación.</i>	9
2.4.2 <i>Definición de las principales impurezas presentes en el agua que causan efectos negativos a las calderas.</i>	14
2.4.2.1 <i>Turbidez.</i>	14
2.4.2.2 <i>Dureza.</i>	14
2.4.2.3 <i>Atcatinidad.</i>	15
2.4.2.4 <i>Acidez mineral.</i>	15
2.4.2.5 <i>Gases disueltos.</i>	16
2.4.2.6 <i>Principales aniones en solución.</i>	16
2.4.2.7 <i>Principales cationes en solución.</i>	16
2.4.3 <i>Definición de las principales dificultades que ocasionan estas impurezas en las calderas.</i>	16
2.4.3.1 <i>Corrosión.</i>	16
2.4.3.2 <i>Incrustación.</i>	18

2.4.4 Operaciones y procesos de Tratamiento de Agua para calderas y equipo requerido.	20
2.4.4.1 Clarificación.	20
2.4.4.2 Filtración.	21
2.4.4.3 Procesos de suavización.	26
2.4.5 Límites de control de agua para calderas.	34
2.5 Generalidades sobre calderas.	36
2.5.1 Descripción de cada uno de los elementos indispensables para el funcionamiento de una caldera.	36
2.5.2 Partes de las que están formadas las calderas.	38
2.5.3 Descripción de los principales accesorios de una caldera.	40
2.5.4 Clasificación de las calderas; diversos tipos.	44
CAPITULO III. PLANTEAMIENTO Y DISCUSION DEL PROBLEMA.	48
3.1 Enunciado del problema.	48
3.2 Características y datos técnicos.	49
3.3 Discusión del problema.	53
3.3.1 Especificación del Sistema de Tratamiento de agua.	53
3.3.2 Especificación del circuito de recirculación.	53
3.3.3 Cálculo de volúmenes y flujos.	53
3.3.4 Cálculo de caídas de presión y potencias de bombeo.	53
3.3.5 Balance de energía.	53
3.3.6 Relaciones estequiométricas.	54

3.3.7 Instrumentación y control de la caldera.	54
CAPITULO IV. RESOLUCION DEL PROBLEMA.	56
4.1 Especificación del sistema de Tratamiento de agua.	56
4.2 Especificación del circuito de recirculación.	59
4.3 Cálculo de volúmenes y flujos.	65
4.3.1 Capacidad de la alberca.	65
4.3.2 Capacidad evaporativa de la caldera.	65
4.3.3 Pérdidas de agua en el sistema.	66
4.4 Cálculo de caídas de presión y potencias de bombeo.	66
4.5 Balance de energía.	75
4.6 Relaciones estequiométricas.	77
4.7 Instrumentación y control de la caldera.	81
CAPITULO V. ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO A 1993.	87
5.1 Estimación de costos de equipo e instalación.	87
5.2 Rendimiento económico del proyecto durante el primer año de funcionamiento.	93
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.	96
APENDICES.	
APENDICE 1. Glosario de unidades e empleadas para expresar las concentraciones de los componentes presentes en el agua.	102
APENDICE 2. Diámetros de filtración recomendados como función de flujos de filtración y retrolavado.	103

APENDICE 3. <i>Reactivos comúnmente empleados en la suavización en caliente.</i>	104
APENDICE 4. <i>Problemas más comunes que se presentan en las resinas de Intercambio Iónico y formas de convergitos.</i>	105
APENDICE 5. <i>Dimensiones de tubería de acero normalizadas.</i>	106
APENDICE 6. <i>Longitudes equivalentes.</i>	107
APENDICE 7. <i>Rugosidad relativa para tubería de diferentes materiales y factor de fricción para turbulencia completa.</i>	108
APENDICE 8. <i>Constantes para sustancias combustibles.</i>	109
BIBLIOGRAFIA.	111

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Forma de llegar a Alcholoya. Hidalgo vía terrestre.	7
FIGURA 2. Esquema de picaduras y ranuras.	18
FIGURA 3. Clarificador convencional.	22
FIGURA 4. Filtro de gravedad.	24
FIGURA 5. Filtro de presión.	24
FIGURA 6. Suavizador de contacto de lodos en frío.	28
FIGURA 7. Suavizador en caliente.	29
FIGURA 8. Configuración del sistema de lavado de la resina de Intercambio Iónico.	32
FIGURA 9. Cuerpo de una caldera y cámara de vapor.	39
FIGURA 10. Principales válvulas en las calderas.	41
FIGURA 11. Manómetro típico.	42
FIGURA 12. Indicador del nivel de agua.	43
FIGURA 13. Ventilador centrífugo.	43
FIGURA 14. Ventilador axial.	43
FIGURA 15. Caldera de Tubos de Humo de tipo horizontal.	45
FIGURA 16. Caldera de Tubos de Agua.	46
FIGURA 17. Alberca de la Hacienda "La Ventilla"	50
FIGURA 18. Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista lateral).	51
FIGURA 19. Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista frontal).	51

FIGURA 20. Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista trasera).	52
FIGURA 21. Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista angular).	52
FIGURA 22. Especificación del circuito de recirculación (zona trasera).	61
FIGURA 23. Especificación del circuito de recirculación (Zona lateral).	62
FIGURA 24. Especificación del circuito de recirculación (vista frontal).	63
FIGURA 25. Especificación del circuito de recirculación (vista superior).	64
FIGURA 26. Proyección isométrica del circuito de recirculación.	67
FIGURA 27. Control de temperatura.	82
FIGURA 28. Control de presión.	82
FIGURA 29. Control de flama.	83
FIGURA 30. Control de nivel.	84
FIGURA 31. Esquema funcional del equipo.	85

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Impurezas que provocan daños a las calderas y formas para eliminarlas.	10
TABLA 2. Coagulantes de ayuda comúnmente empleados.	21
TABLA 3. Medios utilizados en filtración de multicapa.	25
TABLA 4. Categorías de las resinas de	

Intercambio Iónico.	31
TABLA 5. Límites de control de agua para calderas como función de la presión.	34
TABLA 6. Resultados del análisis del agua.	56
TABLA 7. Comparación de valores del Análisis de agua.	57
TABLA 8. Inventario del equipo y costos estimados.	87
TABLA 9. Costos de instalación por Hora·Hombre.	91

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 1. Corrosión del acero VS pH del agua.	35
--	----

CAPITULO I

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS GENERALES.

- Aplicar los conocimientos de Ingeniería Química para realizar un proyecto consistente en el diseño, instalación y operación de un sistema de suavización de agua para caldera; instrumentación y control de la caldera y, finalmente, la instalación y operación de un circuito de recirculación de efluentes.
- Conjuntar la teoría con la práctica para lograr que el proyecto propuesto sea llevado de una idea a algo real.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Lograr el máximo aprovechamiento de los recursos acuíferos de la región de Alchotoya, Hidalgo, mediante la recirculación de las aguas no contaminadas de la Hacienda "La Ventilla".
- Adquirir los conocimientos sobre instrumentación y control básicos para calderas, así como aprender a operar las mismas.
- Proponer un sistema de suavización de agua, un sistema para recircular el agua e instrumentación básica, que sean económicos y eficientes, lo cual se logrará con la ayuda de un estudio técnico económico.
- Prevenir riesgos por incrustación y corrosión en la caldera, mediante la suavización del agua entrante a ésta.

CAPITULO II

INTRODUCCION

2.1 ANTECEDENTES.

¿Qué es el agua? Para los científicos, es el compuesto que contempla la unión química de dos átomos de Hidrógeno con uno de Oxígeno. A presión atmosférica del nivel del mar, solidifica a 0°C y ebulle a 100°C. Cuando es pura, su pH es neutro. El agua disuelve diversas sustancias. A los 2,500°C, se descompone en gases Hidrógeno y Oxígeno; y a temperaturas ordinarias, se descompone mediante el paso de corriente eléctrica.

Pero para efectos de esta tesis, tomaremos los renglones arriba mencionados como mero prefacio, pues lo que nos interesa es conocer el agua desde el punto de vista ecológico y económico, para que con ello podamos verla como un recurso importante y caro, dada la dificultad para su distribución y abastecimiento en ciertos lugares. Una vez considerado tal perfil, se comprenderá la relevancia de este proyecto. Con base a lo anteriormente mencionado, trataremos brevemente lo referente a la distribución del agua.

Haciendo un poco de Historia, los Egipcios crearon un sistema muy extenso para depositar y almacenar el agua del Río Nilo. La Biblia también hace frecuentes referencias al abastecimiento del agua. En el Capítulo 26 del Génesis, se narra cómo los Pastores de Isaac lucharon con los habitantes del Valle de Gerar por la posesión de los manantiales de dicho Valle. Mucho después, el Rey Ezequías "Hizo una alberca y llevó agua hasta Jerusalén". La Antigua Roma quizá nunca hubiese alcanzado su grandeza sin la ayuda de los Ingenieros Hidráulicos. Las aguas del Tíber se habían vuelto demasiado contaminadas como para considerarlas potables. Los Ingenieros construyeron casi 650 Kilómetros de acueductos que llevaban agua hasta la ciudad desde distintos puntos localizados fuera de ella. En Arizona y Nuevo México, en los Estados Unidos, los Arqueólogos todavía estudian los dispositivos de irrigación que construyeron los

antiguos Ingenieros de América del Norte.

Pero la distribución del agua como se practica en la actualidad, es un logro moderno. Hasta épocas comparativamente recientes, sólo las personas ricas podían hacerse llegar el agua hasta sus casas. La mayoría se veía obligada a conducirla desde pozos, manantiales o centros de abastecimiento. Distribuir la casa por casa sólo fue posible hasta la creación y el desarrollo de las bombas de vapor y de diferentes cañerías de fundición lo bastante resistentes para soportar elevadas presiones internas.

Gran parte del aprovechamiento del agua viene del subsuelo, contenida en la abertura del suelo y en las rocas colocadas bajo la superficie de la Tierra. Para extraer agua de los pozos profundos, se utilizan frecuentemente bombas verticales de alta capacidad, o con la aplicación de aire comprimido (que también funciona como desareador del agua) además de otros dispositivos.

Muchas veces, la población debe traer el agua desde fuentes distantes. La provisión de agua para la ciudad de Boston, Massachusetts, proviene de un lago que está a casi 80 Kilómetros de ésta. Nueva York obtiene más de la mitad de sus aguas de las Montañas Kaskill, situada a más de 150 Kilómetros. Los Angeles recibe parte de sus recursos acuíferos de la Presa Parker, situada a unos 400 Kilómetros. Estas ciudades tuvieron problemas semejantes a los que tuvieron los antiguos Ingenieros Romanos, cuando construyeron los acueductos que abastecían de agua a la ciudad.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En forma muy particular, mencionaremos la situación Hidrológica de la zona que ocupa nuestro proyecto: El caserío de Atcholoya, población del Municipio de Tulancingo, Estado de Hidalgo. Esta zona no está exenta de los problemas de distribución y abastecimiento de agua; se caracteriza por su clima semi seco y sin excedentes de agua debido a las escasas precipitaciones pluviales. La distribución de agua para el lugar proviene de manantiales de flujo constante todo el año, situados en

barrancos de considerable altura formadas en el pasado por las corrientes del Río Tulancingo. Los manantiales desembocan a una profundidad aproximada de 200 metros y una distancia de 2,000 metros. De esta manera, se puede observar que para llevar el agua desde su fuente hasta el caserío, se requiere del servicio de bombas verticales de alta potencia, haciendo con ello que el suministro de agua al lugar sea caro y limitado, ya que las bombas no trabajan continuamente.

Estos dos factores (escasés y elevado costo), impulsan a la creación de conciencia en cuanto al aprovechamiento del agua y evitar su desperdicio; y una forma de lograrlo, es la RECIRCULACION DE LAS AGUAS NO CONTAMINADAS. Tal premisa sirve como fundamento de esta tesis que, en forma concreta, se explica a continuación...

La Hacienda "La Ventilla", localizada dentro de la jurisdicción del Municipio de Tulancingo, Estado de Hidalgo, es de propiedad privada. Ocupa una superficie aproximada de 85 Hectáreas, siendo un 65% de éstas, destinadas a la Agricultura, y el 35% restante, estan repartidos entre área de Trabajo y área de recreación y descanso. En cuanto se refiere a esta última, existe una alberca de aproximadamente 250 metros cúbicos de capacidad, y se requiere que sus aguas sean calentadas. Para tal efecto, se cuenta con una caldera de Tubos de Humo que utiliza gas como combustible, de capacidad aproximada de 25,000 libras por hora y que aún no ha sido instalada.

Basándose en la premisa de que la alberca ocupa la mayoría del suministro de agua para toda la Hacienda y que el vital líquido escasea en la zona por las razones ya mencionadas anteriormente, se hace imperante el buscar una forma para aprovechar el agua utilizada. Es por ello que se propone este proyecto, consistente en un circuito de recirculación del agua de la alberca, acompañado de los dispositivos básicos de instrumentación y control de la caldera para lograr su instalación.

Para obtener el sistema requerido que cumpla con lo especificado, es necesario hacer los cálculos necesarios que soporten lo que se exponga. La factibilidad

económica del proyecto se analizará mediante la estimación de costos de equipo e instalación, para que con ello se establezca el rendimiento del proyecto, una vez que se comparen los costos con los gastos anuales consecuentes.

2.3 DESCRIPCION DEL LUGAR DE REALIZACION DEL PROYECTO.

El caserío de Atcholoaya es una población perteneciente a Acatlán, Hidalgo. Tiene una localización geográfica de 20°, 14', 30" latitud Norte, y 96°, 26', 00" longitud Oeste. Los alrededores del lugar del proyecto está constituido por vallecitos, terrazas aluviales, pequeñas mesetas y lomeros de poca altura y leve ondulación. Todo este conjunto se localiza en el márgen izquierdo del Río Tulancingo desde la Laguna de Zulpitlán hasta el caserío de Atcholoaya, donde comienzan altas barrancas formadas en el pasado por las corrientes del mismo Río.

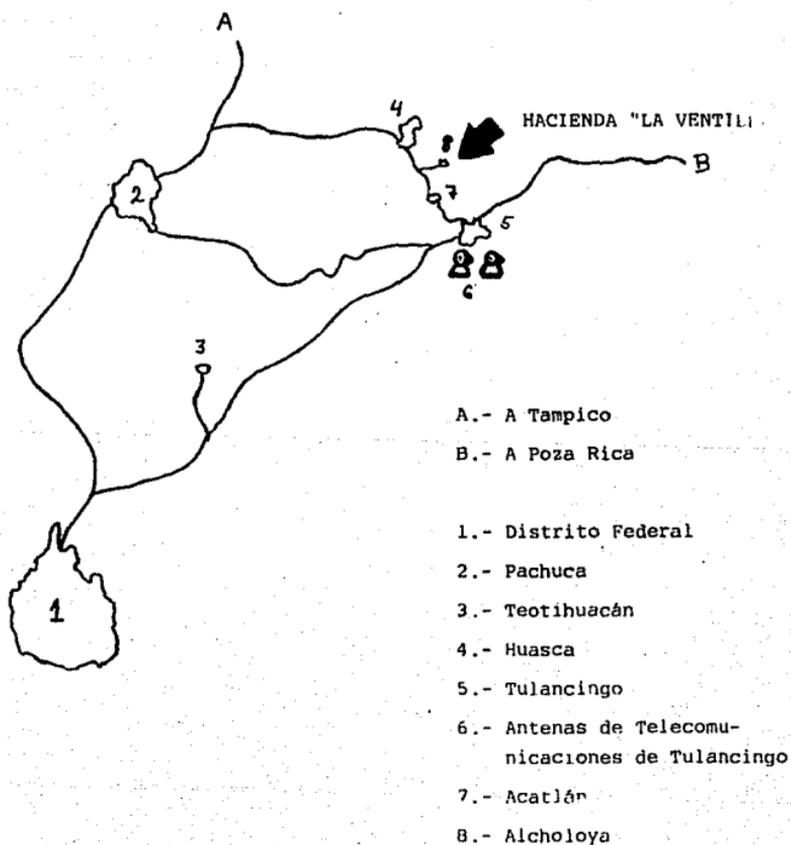
La forma para llegar via terrestre al lugar, es por medio de la Nueva Autopista México - Pirámides; llegando al Municipio de Teotihuacán, se toma la Carretera Federal Pirámides - Tulancingo. Llegando a este último, se toma la salida a Poza Rica, la cual conduce finalmente al camino a Acatlán, que está 7 Kilómetros antes de Atcholoaya. (ver Figura 1)

Del análisis de las tablas meteorológicas obtenidas de la estación del lugar, se determinó el clima de la región, que es de tipo semi-seco y sin excedentes de agua ocasionado por la escasa precipitación pluvial; por lo que se hace destacar el uso de agua complementaria para riego. En base a estudios realizados (Ref. 10)*, se ha podido comprobar que los suelos de la zona son propicios para la Agricultura y de creación de

*.- Para poder acudir a las referencias citadas, consultar la Bibliografía localizada al final de esta tesis.

FIGURA 1

Forma de llegar a
Alcholoya, Hidalgo vía terrestre
(Ref. 10)

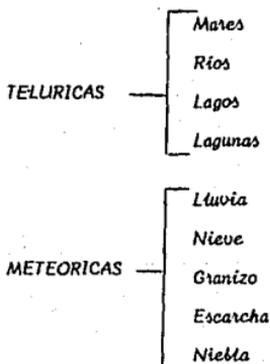


sistemas de riego, ya que no existen problemas de ensaltramiento del agua, lo cual es favorable en cuanto a la creación de Sistemas sencillos para Tratamiento de Agua.

2.4 GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS.

El agua es el elemento más preciado en la vida del hombre, ya que es vital para su supervivencia, así como para miles de usos y procesos, tanto domésticos como industriales.

El agua en su Estado físico más común, que es el líquido, se obtiene de diversas fuentes, entre las que destacan como las más importantes las mencionadas a continuación:



El primer grupo mencionado, las aguas telúricas, son de interés para nuestro estudio, ya que son las depositadas sobre o debajo de la corteza terrestre y son las comprendidas como las que no se pueden consumir por no ser potables y su uso más común es para la Industria; para nuestro caso, como agua para alimentar calderas.

El agua que procede de las fuentes arriba mencionadas, por estar en contacto

con la formación geológica del terreno por el que pasa, lleva disueltas o en suspensión, sustancias orgánicas e inorgánicas. Por esta causa, el agua, cualquiera que sea su uso, debe ser tratada y acondicionada de acuerdo con las exigencias propias del empleo o proceso en el que se va a emplear, sin importar si éste es doméstico o industrial.

En nuestro caso, el agua que va a ser destinada para alimentar una caldera, debe ser tratada para que reúna ciertos requisitos indispensables para este fin, los cuales se mencionan a continuación.

2.4.1 IMPUREZAS MAS COMUNES EN EL AGUA QUE PROVOCAN DAÑOS A LAS CALDERAS; EFECTOS Y OPERACIONES PARA SU ELIMINACION.

El hecho de que el agua, dada sus propiedades físicas y químicas, se comporte como el Disolvente Universal, hace que sea imposible encontrársele pura, ya que disuelve prácticamente todas las sustancias con las que entra en contacto. La cantidad y tipo de impurezas depende del lugar de abastecimiento del agua, y para poder aplicar ésta en sistemas y dispositivos industriales, como en calderas, deben de realizarse técnicas de acondicionamiento y purificación, para que el agua sea de calidad aceptable en el uso.

En la Tabla 1, se muestra una síntesis de las impurezas más comunes que provocan daños a las calderas, sus efectos y formas de eliminarlos.

TABLA 1

Impurezas que provocan daños a las calderas y formas para eliminarlas

CONSTITUENTE	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES CAUSADAS	TRATAMIENTO
Turbidez	Ninguna, expresada en Análisis como CaCO_3 .	Depósitos en líneas de agua, Equipos de proceso, interferencias en muchos usos en proceso.	Coagulación Sedimentación Filtración
Dureza	Salas de Calcio y Magnesio como CaCO_3	Fuentes principales de incrustación en cambiadores de calor, calderas, tuberías, etc.	Suavización Desmineralización Tratamiento interno de agua para calderas, Agentes tensoact.
Alcalinidad	Bicarbonatos Carbonatos Hidróxidos expresados como CaCO_3	Espumeo y arrastre de sólidos en el vapor, fragilización en el acero de las calderas, se produce CO_2 en el vapor, lo cual es fuente de corrosión.	Suavización con cal-Carbonato, Tratamientos con ácidos, suavización con zeolitas.
Acidez mineral	H^+	Corrosión	Neutralización con álcalis.

TABLA 1

(cont.)

Bióxido de Carbono	$\text{CO}_2(\text{gas})$	Corrosión en líneas de agua.	Desaeración Neutralización con álcalis.
Sulfatos	SO_4^{-2}	Se combina con el Calcio para formar incrustación de Sulfato de Calcio.	Desmineralización
Cloruros	Cl^{-1}	Se suman al contenido de sólidos en el agua e incrementan el carácter corrosivo de la misma.	Desmineralización
Nitratos	NO_3^{-1}	Util para el control de fragilidad en el metal de las calderas.	Desmineralización
Sodio	Na^{+1}	Cuando se combina con los OH^{-1} causa corrosión en las calderas bajo ciertas condiciones.	Desmineralización
Sílice	SiO_2	Incrustación en sistemas de calderas.	Desmineralización. Adsorción con resinas de intercambio iónico.

TABLA 1

(cont.)

<i>Fierro</i>	Fe^{+2} ó Fe^{+3}	<i>Fuente de dispositivos en líneas de agua, calderas, etc.</i>	<i>Aereación Coagulación y Filtración.</i>
<i>Manganeso</i>	Mn^{+2} ó Mn^{+3}	<i>Mismo que el Fierro</i>	<i>Mismo que el Fierro</i>
<i>Aluminio</i>	Al^{+3}	<i>Puede causar depósitos en sistemas de enfriamiento y contribuye a incrustaciones complejas en la caldera.</i>	<i>Mejoramiento en la clarificación y en la filtración.</i>
<i>Oxígeno</i>	O_2	<i>Corrosión en líneas de agua, equipo de intercambio iónico, calderas y líneas de retorno.</i>	<i>Deaereación, Sulfito de Sodio, Inhibidores de corrosión.</i>
<i>Acido sulfhídrico</i>	H_2S	<i>Corrosión</i>	<i>Aereación, Cloración, Intercambio aniónico altamente básico.</i>
<i>Amoníaco</i>	NH_3	<i>Corrosión en aleaciones de Cobre y Zinc, por la formación de un complejo soluble.</i>	<i>Interc. catiónico con zeolita de Hidrógeno. Cloración.</i>

TABLA 1

(cont.)

<i>Sólidos disueltos</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Puede ocasionar espumeo en las calderas.</i>	<i>Varios procesos de suavización. Desmineralización</i>
<i>Sólidos suspendidos</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Causan depósitos en equipo de intercambio de calor,</i>	<i>Filtración, después de coagulación y sedimentación.</i>
<i>Sólidos totales</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Es la suma de los sólidos suspendidos y disueltos, determinados gravimétricamente.</i>	<i>Ver sólidos suspendidos y disueltos.</i>

2.4.2 DEFINICION DE LAS PRINCIPALES IMPUREZAS PRESENTES EN EL AGUA QUE CAUSAN EFECTOS NEGATIVOS EN LAS CALDERAS.

2.4.2.1 TURBIDEZ.

Es formada por el Hierro precipitado, partículas suspendidas y sedimentos naturales; imparte color al agua y provoca depósitos en las tuberías de flujo que provoca estancamientos en las mismas. La Turbidez se expresa como UNIDADES DE TURBIDEZ JACKSON (U T J) ó en Partes Por Millón (P P M) de las sustancias que la forman, convertidas a Partes Por Millón como Carbonato de Calcio (ver Apéndice 1).

2.4.2.2 DUREZA.

Se les dá el nombre de AGUAS DURAS a aquellas que contienen, suspendidas o en solución, sales de Calcio y/o Magnesio. La cantidad existente de estas sales en el agua determina su grado de Dureza, la cual se expresa en Granos por Galón (G P G) o en Partes Por Millón como Carbonato de Calcio. Se observan dos tipos principales de Dureza, que son:

- a) DUREZA TEMPORAL. Debida al contenido de Carbonatos y Bicarbonatos de Calcio. Se elimina fácilmente hirviendo el agua.
- b) DUREZA PERMANENTE. Debido al contenido de Carbonatos, Sulfatos y Cloruros de Calcio y Magnesio.

La suma de estas dos formas de Dureza, nos dá como resultado la DUREZA TOTAL; en ella se podrá observar la calidad del agua para usos Industriales, y de este modo el empleo de sistemas más adecuados para su Tratamiento.

2.4.2.3 ALCALINIDAD.

Es provocada por el contenido de Carbonatos, Bicarbonatos e Hidróxidos, expresados en Granos por Galón, o en Partes Por Millón como Carbonato de Calcio.

Existen dos tipos de Alcalinidad:

- a) A LA FENOLFTALEINA. Provocada por la mitad de la cantidad de Carbonatos y la totalidad de los Hidróxidos.
- b) AL ANARANJADO DE METILO. Es la Alcalinidad Total; provocada por la mitad de Carbonatos y la totalidad de Bicarbonatos.

De estas dos formas de Alcalinidad, podemos relacionarlas de la siguiente forma:

RELACION ALCALINIDAD F-A M

IONES PRESENTES

0	Bicarbonatos
Entre 0 y 1/2	Bicarbonatos y Carbonatos
1/2	Carbonatos
Entre 1/2 y 1	Carbonatos e Hidróxidos
1	Hidróxidos

2.4.2.4 ACIDEZ MINERAL.

Provocada por la cantidad de iones Hidrógeno en solución disociados de los ácidos (Clorhídrico, Sulfúrico, etc.), expresados como potencial Hidrógeno (pH), como Granos por Galón o como Partes Por Millón como Carbonato de Calcio.

2.4.2.5 GASES DISUELTOS.

La lluvia arrastra los gases en su paso por la atmósfera, principalmente los gases Oxígeno y Dióxido de Carbono. También se encuentran presentes considerables cantidades de Acido Sulfhídrico y Amoníaco.

2.4.2.6 PRINCIPALES ANIONES EN SOLUCION.

A) SULFATOS. Son producto de la combinación entre el Sulfuro extraído de la descomposición orgánica, con agentes oxidantes.

B) CLORUROS. Se presentan principalmente en el agua de mar y en los suelos que contienen grandes cantidades de salitre.

C) NITRATOS. Son productos intermedios de la descomposición orgánica.

2.4.2.7 PRINCIPALES CATIONES EN SOLUCION.

A) SODIO. Se encuentra asociado a los suelos que contienen grandes depósitos minerales en su entorno.

B) SILICE. Producto de la Oxidación del Silicio. El Silitato, junto al Calcio y Magnesio, es un agente sumamente incrustante y es el ión más común de encontrar en aguas Mexicanas.

C) FIERRO. Se encuentra generalmente suspendido en su forma de ión Férrico, y se localiza en depósitos minerales.

2.4.3 DEFINICION DE LAS PRINCIPALES DIFICULTADES QUE OCASIONAN ESTAS IMPUREZAS EN LAS CALDERAS.

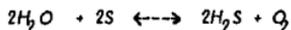
2.4.3.1 CORROSION.

Es el desperfecto o deterioro que sufren las superficies metálicas de una caldera

por diferentes causas. La corrosión puede ser:

A) **CORROSION INTERNA.** Es el deterioro que sufren las superficies internas de las planchas de una caldera debido a efectos electroquímicos. Es causado por el aire que viene mezclado con el agua alimentada, o por el Oxígeno que se produce por el efecto electrolítico que sufre el agua por su acidez, al estar en contacto con las láminas de la caldera cargadas de potenciales eléctricos diferentes. En una caldera, las superficies que están en contacto con el agua acidulada se cargarán con electricidad positiva, en tanto que las superficies fuera de su contacto, se cargarán con electricidad negativa.

B) **CORROSION EXTERNA.** Es el deterioro de las superficies exteriores de las láminas de una caldera, debido al proceso de oxidación del metal. Las principales causas que provocan la corrosión externa es el Azufre contenido en el Hottín depositado y adherido a las superficies de calefacción exteriores de una caldera. La otra causa que provoca la corrosión externa es el agua procedente de alguna fuga, gotera o simplemente la humedad del aire cuando la caldera ha sido detenida o ha estado inactiva por algún tiempo. De la combinación del agua con Azufre, resulta la siguiente expresión:



El Acido Sulfhídrico ataca violentamente las superficies metálicas sobre las que se forma que, después de algún tiempo, afecta la vida de las calderas.

Los efectos perjudiciales de ambas corrosiones, son las PICADURAS y las RANURAS. La acción de las picaduras y las ranuras depende de su extensión y penetración, siendo más rápida su extensión; cuanto más grandes son las superficies de las placas metálicas, más grande es la extensión de la ranura (Figura 2).

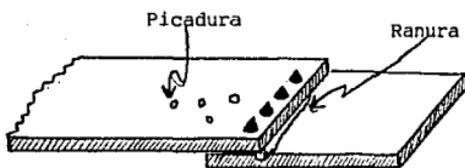


FIGURA 2

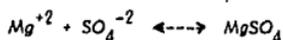
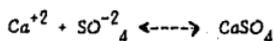
Esquema de picaduras y ranuras
(Ref. 8)

El resultado de la formación de estos defectos en el material de la placa metálica de la caldera, es el debilitamiento de las láminas, la cual debe tomarse en cuenta para determinar la presión a la que deba trabajar con seguridad, o incluso ser retirada del servicio.

2.4.3.2 INCRUSTACION.

Se denomina INCRUSTACION, al conjunto de sales, cuerpos e impurezas que contienen las aguas en disolución y que al transformarse éstas en vapor, se depositan en la superficie de calefacción de la caldera. Las sales que contienen en disolución el agua son los Carbonatos de Calcio y Magnesio; los cuerpos los conforman las cantidades de Sílice, y las impurezas son las sustancias orgánicas. Las incrustaciones pueden ser de dos tipos:

A) BLANDAS. Se presenta este tipo de incrustación, cuando el Calcio y el Magnesio se unen con Sulfatos, formando un todo suelto que se acumula en la parte inferior de la caldera, según las siguientes expresiones químicas:



B) DURAS. La incrustación dura es la incrustación blanda que, en el transcurso del tiempo no es removida, y otras reacciones químicas y combinaciones toman gran resistencia.

Las incrustaciones presentan dos inconvenientes: aumentan el gasto de combustible y reducen la eficiencia de la caldera. Estos inconvenientes se presentan puesto que las incrustaciones constituyen un aislante entre el metal de la caldera y el agua, que retarda e impide la transmisión de calor para un calentamiento rápido del agua.

Las incrustaciones causan graves daños en las superficies de las calderas, como abolsamientos, sobrecalentamiento y rotura de las placas metálicas. Estos daños ocurren porque teniendo las superficies de calefacción, por un lado el calor intenso, y por el otro el aislante constituido por la incrustación, el metal de las placas y de la tubería sobrepasan su límite de dilatación, deformándose permanentemente. En algunos casos se forman las bolsas, y en otros, el material llega a desgarrarse con desperfectos consecuentes en la caldera.

2.4.4 OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS Y EQUIPO REQUERIDO.

2.4.4.1 CLARIFICACION.

La materia suspendida en los abastecimientos de agua, es removida por varios métodos con el propósito de proveer un agua de calidad aceptable para uso en calderas.

La clarificación es generalmente ejecutada en tres pasos principales, que son:

A) COAGULACION. Es el proceso de desestabilización por neutralización de carga. Una vez neutralizadas, las partículas ya no se repelen por lo que pueden juntarse. Si se tienen partículas de tendencia electronegativa, se neutralizan mediante la presencia de un catión.

B) FLOCULACION. Es el proceso consistente en juntar las partículas neutralizadas en la coagulación, con el objeto de aglomerarlas formando con ello un FLOCULO.

C) SEDIMENTACION. Se refiere a la remoción física de los sólidos suspendidos una vez que éstos han sido coagulados y floculados.

Las partículas suspendidas finamente divididas en la superficie del agua, se repelen una de otra debido a que en la periferia de las partículas existe predominantemente cargas negativas. La clarificación envuelve los siguientes pasos que permiten que las partículas se aglomeren:

* El uso de sales inorgánicas de Aluminio o Hierro, las cuales neutralizan las cargas. Estas sales también se hidrolizan, formando precipitados insolubles que ayudan a atrapar partículas adicionales.

* El uso de potímeros orgánicos solubles en agua, que poseen numerosos sitios ionizados para la coagulación y la floculación.

Para aumentar la velocidad de floculación, se utilizan ciertos polímeros conocidos como COAGULANTES DE AYUDA. Algunos de los coagulantes más comúnmente empleados, se proporcionan en la Tabla 2.

TABLA 2
Coagulantes de ayuda comúnmente empleados

NOMBRE	FORMULA QUIMICA
Sulfato de Aluminio	$Al_2(SO_4)_3$
Aluminato de Sodio	Na_5AlO_4
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$
Cloruro férrico	$FeCl_3$
Oxido de Magnesio	MgO_2
Silicato de Sodio	Na_2SiO_4

Los factores importantes a considerar en una operación de clarificación, son el pH y la temperatura.

Las partes y dispositivos que conforman un clarificador convencional, se esquematizan en la Figura 3.

2.4.4.2 FILTRACION.

La filtración es la operación mediante la cual se hace pasar una corriente de agua que contiene turbidez y material suspendido, a través de un material poroso acondicionado de tal forma que es removida dicha materia suspendida y turbidez.

- A Entrada de agua cruda.
- B Zona de sedimentación.
- C Zona para remoción de lodos.
- D Zona para remoción de lodos.
- E Separación de agua clarificada.
- F Efluente del agua tratada.
- G Mezclado rápido
- H Recirculación.
- I Alimentación de químicos.
- J Agua clarificada.

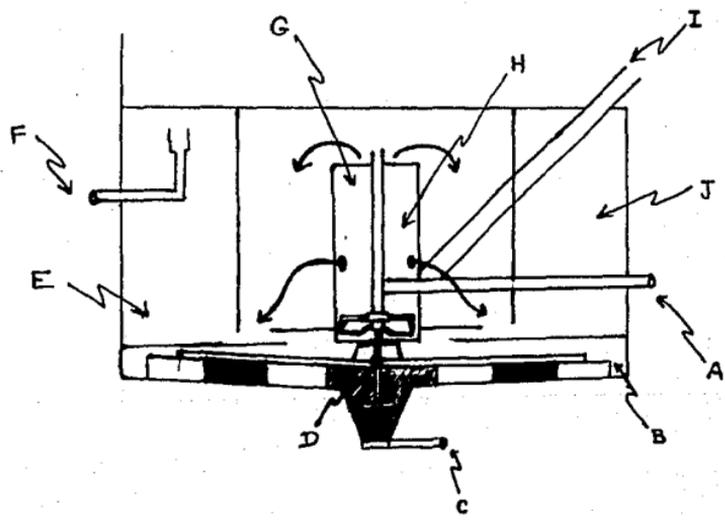


FIGURA 3
 Clarificador convencional
 (Ref. 8)

Los medios filtrantes mas comunmente empleados, son la ANTRACITA y la ARENA; de éstos, el segundo es el que se prefiere. La Antracita, que es un Carbón mineral con Gravedad específica de 1.6, por su menor peso es de utilidad en el proceso de retrolavado, el cual se explicará posteriormente.

Existen dos tipos de filtros, y son:

A) FILTROS DE GRAVEDAD. Estos son recipientes abiertos a la atmósfera, construidos por lo general de concreto. Sus dimensiones varían de acuerdo a la capacidad que se requiere. Estos filtros tienen la desventaja de que ocupan mucho espacio, además de que provocan demasiada pérdida de presión en la línea anterior al filtro, lo que hace que se requiera de una bomba a la salida del mismo. Su principal ventaja es que son de fácil inspección (Figura 4).

B) FILTROS DE PRESION. Son recipientes construidos de placa de Acero y pueden ser horizontales o verticales. Se usan con proceso de precipitación en caliente (el cual se explicará posteriormente) con lo que se permite una operación a altas temperaturas, previniendo pérdidas de calor. Tienen la ventaja de ocupar un mínimo de espacio y provocan poca caída de presión*. El filtro de presión se esquematiza en la Figura 5.

*.- Cuando la caída de presión alcanza un valor de 10 pies de agua (5 lb/pulg²), la unidad debe regenerarse.

- A Estructura de concreto
- B Línea de drenaje
- C Cama o lecho de filtración
- D Alimentación de agua cruda
- E Válvula de control
- F Línea de retrolavado

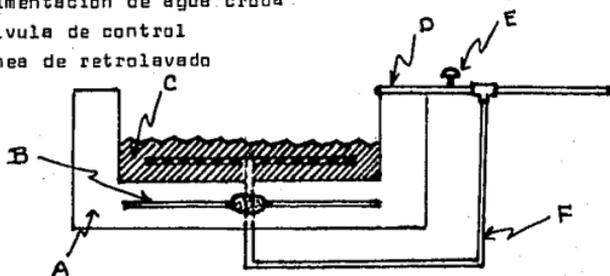


FIGURA 4

Filtro de gravedad (Ref. 8)

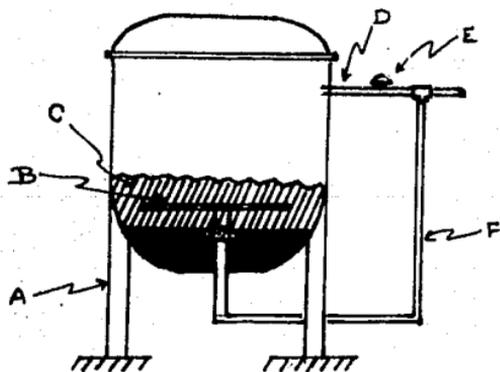


FIGURA 5

Filtro de presión (Ref. 8)

De los dos tipos de filtros mencionados, los mas usados a nivel industrial son los filtros de presión, debido al poco espacio que ocupan, además de que prácticamente no provocan pérdidas de presión, haciendo con ello innecesario el uso de una bomba a la salida del filtro.

Existen filtros que utilizan una cama filtrante mixta, también conocida como MULTICAPA. La Tabla 3 muestra cuatro medios utilizados en una filtración de multicapa.

TABLA 3
Medios utilizados en filtración de multicapa

MEDIO	TAMAÑO DE PARTICULA	s g r
Antracita	0.7 - 1.7 pulg.	1.4
Arena	0.3 - 0.7 pulg.	2.6
Granate	0.4 - 0.6 pulg.	3.8
Magnetita	0.3 - 0.5 pulg.	4.9

La eficiencia de la filtración depende del tamaño y la forma del medio filtrante. El flujo en operación recomendado es de 3 galones por minuto en cada pie cuadrado de area filtrante.

OPERACION DE RETROLAVADO. El retrolavado consiste en una inversión de flujo de agua en el equipo de filtración, con el objeto de realizar una "limpieza" o desbloqueo de la cama de filtración. Se realiza introduciendo un flujo de agua por la parte de abajo del filtro para expender el lecho de un 30 a un 50% de su volumen. Durante la operación, se suelta el material acumulado en el medio filtrante y se arrastra al drenaje.

Los flujos para retrolavado recomendados, son:

ANTRACITA EN FRIO: 10 GPM/ft² de área filtrante

ANTRACITA EN CALIENTE: 12-15GPM/ft² de área filtrante

En la tabla del apéndice 2, se muestra la cantidad de agua que se puede obtener a diferentes diámetros y a diferentes flujos, así como el agua necesaria para el retrolavado.

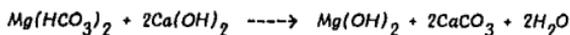
2.4.4.3 PROCESOS DE SUAVIZACION.

Los procesos de suavización o ablandamiento del agua, son utilizados principalmente para la remoción de sales de Calcio y Magnesio, las cuales se conocen como MATERIAL INCRUSTANTE. El proceso en sí, consiste en la remoción de sales de Calcio y Magnesio mediante su conversión a sales insolubles fácilmente removibles por medio de operaciones mecánicas.

Dado que el proceso de suavización implica que se lleven a cabo reacciones químicas, para obtener un caudal de agua con especificaciones determinadas de dureza mínima, es necesario que se lleven a cabo los análisis del agua cruda, los cuales servirán para dar una idea de la cantidad de reactivo que se necesitará para establecer los balances estequiométricos de las reacciones químicas.

Existen dos procesos de suavización comunes, que son:

A) SUAVIZACION POR PRECIPITACION. En este tipo de suavización, se utiliza como reactivo cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); las reacciones involucradas son las siguientes:



Tanto el Carbonato de Calcio como el Hidróxido de Magnesio son insolubles, es decir, se precipitan de la disolución. Este precipitado es fácilmente removible del agua mediante la operación de filtración, disminuyendo de esta forma la dureza.

Originalmente, este tipo de suavización se realizaba a temperatura ambiente (suavización en frío), pero se encontró que la eficiencia de la suavización mejoraba si se calentaba el agua prácticamente a su punto de ebullición, introduciéndola en un tanque a presión y sometiéndola con cal hidratada a que se efectuaran las reacciones antes mencionadas. Como la dureza temporal desaparece con este calentamiento, se requiere de menores cantidades de cal hidratada para completar la suavización. A este proceso se le denomina SUAVIZACION EN CALIENTE. En la tabla del apéndice 3, se muestran los reactivos que pueden ser utilizados en la suavización en caliente.

El equipo común de suavización en frío, es mostrado en el esquema de la figura 6, y el dispositivo de suavización en caliente es esquematizado en la figura 7.

B) SUAVIZACION POR INTERCAMBIO IÓNICO. Todas las aguas naturales contienen, en solución o disueltas, diversas sales, las cuales se disocian para formar iones. Existen materiales que tienen la particularidad de intercambiar un ión por otro; si se someten a una regeneración, dichos materiales pueden regresar a sus condiciones originales. Este dispositivo es ampliamente usado en el Tratamiento de Agua cruda que contiene altas cantidades de sales disueltas. A este proceso se le conoce como INTERCAMBIO IONICO y los materiales que más se emplean son las ZEOLITAS;

- A Entrada de agua cruda.
- B Salida de lodos.
- C Dren del reactor.
- D Brazo del agitador.
- E Pelotas giradoras.
- F Salida de agua tratada.
- G Agitador con motoreductor.
- H Alimentación de químicos.
- I Concentración de lodos.
- J Zona de reacción.

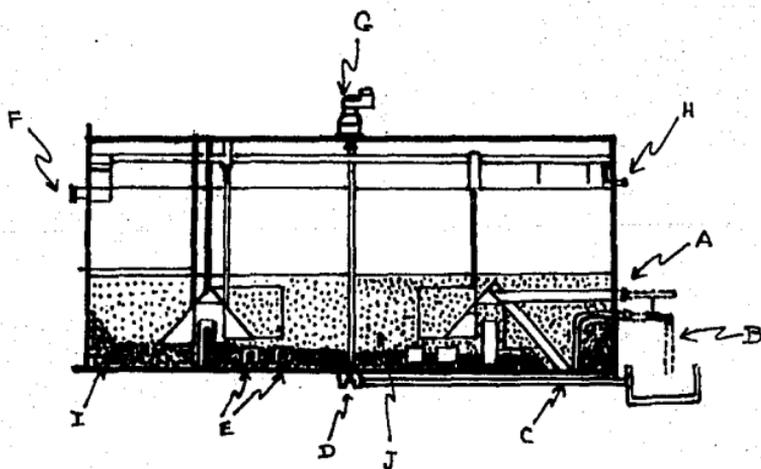


FIGURA 6

Suavizador de contacto de lodos en frío (Ref. 8)

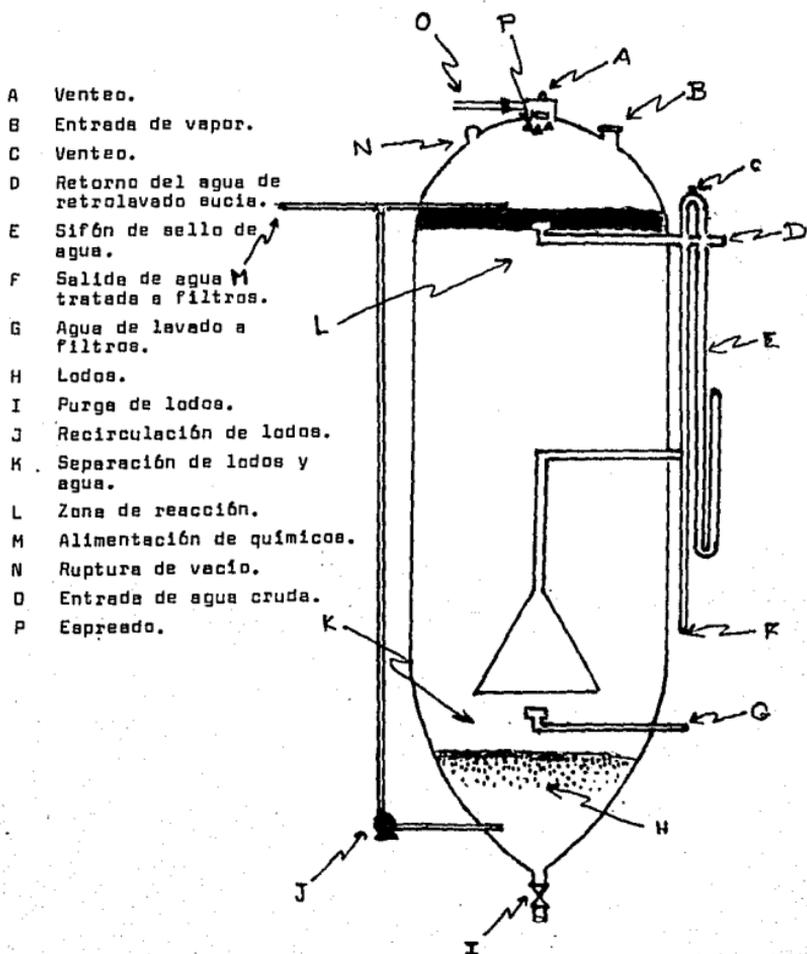
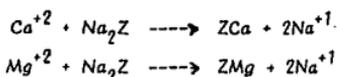
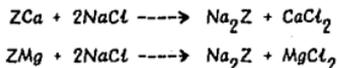


FIGURA 7
 Suavizador en caliente (Ref. 8)

compuestos de Sodio útiles en estos procesos, ya que además de intercambiar el ión Sodio (sus sales son insolubles), sirve para la obtención de sal común, utilizada como regenerante. La reacción que ocurre en el proceso, se representa mediante la siguiente ecuación química:



Cuando se está operando normalmente, debe hacerse un análisis del agua suavizada con el objeto de no sobrepasar el límite permisible de dureza; en caso de que esto no ocurra, la resina de Intercambio Iónico debe regenerarse mediante una solución saturada de Cloruro de Sodio (NaCl). La regeneración consiste en la inversión de la reacción ocurrida para recuperar la capacidad de intercambio de la resina, mediante la adición de sus iones originales. Tal proceso de inversión de la reacción se representa mediante las siguientes ecuaciones químicas:



Antes de proceder a la regeneración de la unidad, se desconecta el servicio y se realiza un retrolavado a través del lecho para aflojarlo, además de que así se remueven depósitos acumulados sobre la superficie de las zeolitas. Cuando se ha completado el retrolavado, se descarga la solución de salmuera por medio del lecho, controlando el flujo; finalmente, se realiza un enjuague con el objeto de eliminar la sal en exceso. Las velocidades de retrolavado y de enjuague se regulan mediante controladores de flujo.

En la Figura 8, se muestra un tanque con resina de Intercambio Iónico y un dispositivo adicionado para limpieza y desbloqueo del techo de intercambio.

OTROS TIPOS DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO Y SUS REACCIONES TÍPICAS.

Básicamente, podemos dividir a las resinas de Intercambio Iónico en cuatro categorías esencialmente análogas con los ácidos y bases, junto con sus reacciones.

La diferencia más grande es, sin embargo, que las resinas de Intercambio Iónico son insolubles y, por lo tanto, remueven los iones de las soluciones, formando así sales de resinas, mientras que los ácidos y las bases más comunes forman sales insolubles que se mantienen presentes en la solución.

En la Tabla 4, se muestran las cuatro categorías de resinas de Intercambio Iónico y sus ácidos y bases inorgánicos análogos.

TABLA 4
Categorías de resinas de Intercambio Iónico

CATEGORIA	RESINA DE INTERCAMBIO IONICO	ACIDO O BASE INORGANICO ANALOGO
Catiónica fuerte	$RZSO_3H$	H_2SO_4
Catiónica débil	$RZCOOH$	CH_3COOH
Aniónica fuerte	$RZNR_3OH$	$NaOH$
Aniónica débil	$RZNR_3$ o RZN	NH_3

En donde: RZ representa la parte insoluble de la resina.

R representa grupos Hidrógeno o alifáticos.

- A Zona de soporte.
- B Resina de intercambio iónico.
- C Lanza construida de tubo de 1/2" 6 3/4" cédula 40.
- D Travesaño de seguridad para evitar la penetración a las capas de la zona de soporte.
- E Válvula de tres pasos.
- F Manguera flexible.

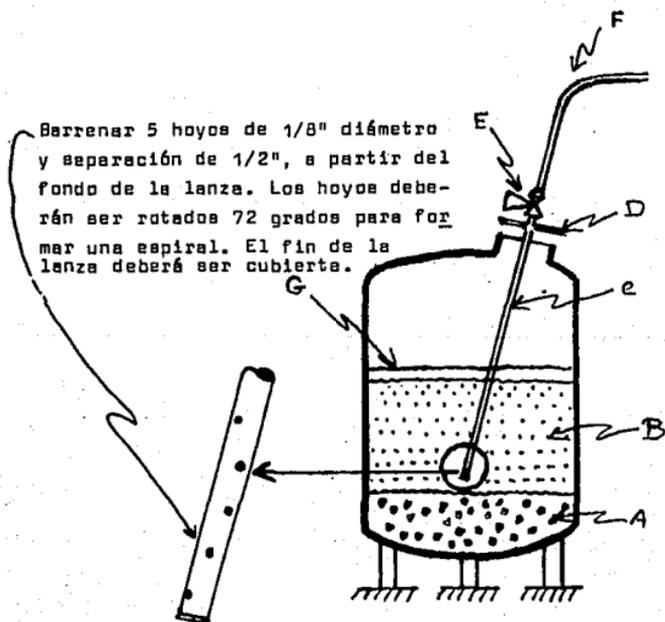
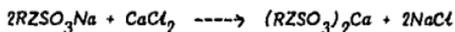


FIGURA 8

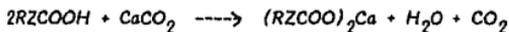
Configuración del sistema de limpieza de la resina de Intercambio Iónico (Ref. 8)

Ahora, se presentan mediante ecuaciones químicas, las reacciones típicas propias de cada una de estas resinas de Intercambio iónico.

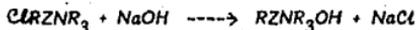
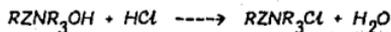
RESINAS CATIONICAS FUERTES.



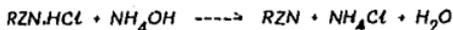
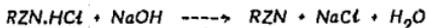
RESINAS CATIONICAS DEBILES.



RESINAS ANIONICAS FUERTES.



RESINAS ANIONICAS DEBILES.



En el Apéndice 4, se muestra una tabla con los problemas más comunes que se presentan en una resina de Intercambio iónico, junto con los remedios para corregirlos.

2.4.5 LIMITES DE CONTROL DE AGUA PARA CALDERAS.

Para mostrar la concentración máxima permisible de contaminantes en el agua que alimentará a la caldera, como función de la presión de trabajo, se presenta la Tabla 5.

TABLA 5
Limites de control de agua para calderas
como función de la presión

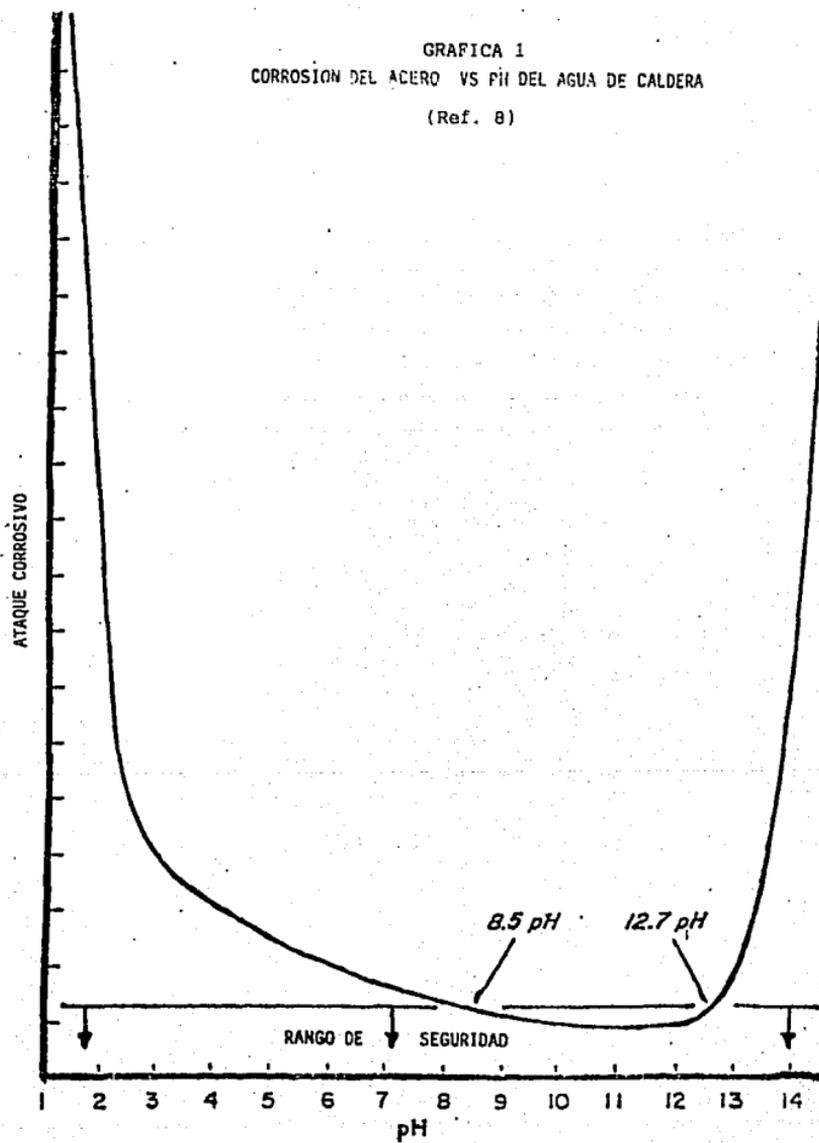
PRESION DE TRABAJO (Kg/cm ²)	0 - 20	21 - 30	31 - 45
C Alcalinidad total	1,040	950	760
O Sílice	420	320	210
N Oxígeno consumido	2,000	1,300	1,000
T Sólidos totales			
A Calcio y			
M Magnesio	100	90	70
I Sodio	300	180	130
A Aluminio	120	80	75
N OTROS	800	600	450
E			

NOTA: Las concentraciones arriba mostradas, se expresan en P P M totales.

Otro factor importante, es el control de pH, que provoca corrosión en rangos no permisibles. En la Gráfica 1, se muestran los rangos seguros de pH para trabajar, los cuales son independientes de la presión de trabajo.

GRAFICA 1
CORROSION DEL ACERO VS PH DEL AGUA DE CALDERA

(Ref. 8)



2.5 GENERALIDADES SOBRE CALDERAS.

CALDERA es un recipiente cerrado en el cual, por medio del calor que produce un combustible, el agua se calienta o incluso se convierte al Estado gaseoso (vapor), a una presión más alta que la atmosférica. Para el funcionamiento de una caldera, es indispensable que se cuente con aire, agua y combustible. El aire es necesario para la combustión de la sustancia o materia que será empleada como combustible; el agua es el elemento alimentador de la caldera y es necesaria para su calentamiento o conversión en vapor, para una determinada aplicación. El combustible es necesario para proporcionar el calor requerido mediante su combustión, y que hará cambiar con ello el estado físico del agua o simplemente calentarla.

2.5.1 DESCRIPCIÓN DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS INDISPENSABLES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA.

AIRE.- El aire es el gas que respiramos y que forma la atmósfera. Está compuesto por una mezcla mecánica del 23.2% de Oxígeno, un 75.5% de Nitrógeno, un 1.3% de Argón y el resto de otros componentes inertes. El peso de la atmósfera por unidad que ocupa, se define como la PRESIÓN ATMOSFÉRICA y a nivel del mar es de 1.033 Kilogramos por metro cuadrado de superficie, lo que equivale a una altura de 760 milímetros de Mercurio dentro de una columna de vidrio de 1 milímetro de diámetro. De esta forma, la suma de la presión de la atmósfera más la presión de operación de una caldera al estar calentando o evaporando agua, nos dará como resultado la PRESIÓN ABSOLUTA de operación de la caldera.

En cuanto a la composición del aire, vemos que el 23.3% del Oxígeno, es la fracción encargada de provocar la combustión, mientras que el 75.5% de Nitrógeno se encarga de evitar la inflamabilidad del mismo.

AGUA.- Como se mencionó en la introducción, el agua es el producto de la combinación química de los gases Hidrógeno y Oxígeno en relación 2-1, mezclados mecánicamente con cierta cantidad de aire. La principal característica a tomar en cuenta en el agua, es su temperatura de máxima densidad, que es la temperatura a partir de la cual se dilata con mayor facilidad; y es alcanzada a una temperatura de 4°C al nivel del mar. A dicha temperatura, el agua pesa un Kilogramo por decímetro cúbico, o sea, un litro. La variación del peso del agua con la temperatura es muy importante y debe tomarse en cuenta para el buen funcionamiento de una caldera, al igual que la dureza del agua; la primera, porque facilita la circulación natural o térmica del agua, y la segunda es importante para evitar incrustación y depósitos en los tubos y paredes de la caldera. La dureza máxima permisible y la presencia de otros elementos dañinos para la caldera, fueron expuestos en el capítulo anterior.

COMBUSTIBLE.- Combustible es toda sustancia que, combinada con el aire, produce luz, calor y desprendimiento de gases. Existen tres clases de combustible:

a) Combustibles sólidos. El principal es el Carbón mineral, que es materia comprimida vegetal y en estado mineral, también se comprime a muy altas presiones y temperaturas. Se encuentra diseminado en depósitos fósiles de dos clases que son: Carbón Antracita y Carbón bituminoso. El Carbón mineral, después de ser quemado en hornos especiales, resulta convertirse en COKE. Otros combustibles sólidos, son la madera, la corteza, la paja, el serrín, la trea, el bagazo de caña, entre otros.

b) Combustibles líquidos. El principal es el petróleo crudo. De una manera general, el petróleo crudo está formado de Carbono e Hidrógeno mezclados con cantidades variables de Azufre, Nitrógeno, Arsénico y sedimentos.

Los derivados del petróleo crudo utilizados en calderas más comúnmente, son el petróleo combustible, el petróleo diésel y el diésel.

c) Combustibles gaseosos. Los combustibles gaseosos más comúnmente utilizados en calderas, son el gas natural, el gas de hornos de coque, gas de Altos Hornos y el gas pobre. Los combustibles gaseosos tienen todas las ventajas de los combustibles líquidos y menos desventajas. Únicamente, para su encendido es necesario tomar mayor número de medidas de seguridad y evitar fugas por insignificantes que sean en las tuberías.

2.5.2 PARTES DE LAS QUE ESTAN FORMADAS LAS CALDERAS.

Las partes distintivas que deben tomarse en cuenta en una caldera, son el CUERPO, el HOGAR, la CHIMENEA y los ACCESORIOS.

A) Cuerpo. El cuerpo de una caldera está formado por todas las partes metálicas que, unidas entre sí, tienen el objeto de almacenar el agua y el vapor producido o el agua calentada. Tiene formas diferentes y características especiales, según el tipo y el servicio a que está destinada la caldera. En el cuerpo de la caldera, se consideran la superficie de calefacción y la cámara de vapor. La superficie de calefacción se expresa en metros cuadrados y da una idea de la capacidad de la caldera. Expresar la capacidad de la caldera en Caballos de fuerza (H. P.) o en metros cuadrados es incorrecto e indebido; la forma correcta y técnica de expresar la capacidad de la caldera es en Kilogramos de vapor producido por hora, o según el sistema de medición que se emplee, en masa de vapor producido por unidad de tiempo.

La mejor forma para la superficie de calefacción, es la TUBULAR, debido a que aumenta la capacidad de calentamiento del agua por menos extensión de superficie y facilita el paso de los gases de la combustión aprovechando mejor el calor.

Se denomina CAMARA DE VAPOR de una caldera, al espacio cerrado comprendido entre la superficie de liberación de vapor y las láminas superiores del cuerpo cilíndrico, en donde se almacena el vapor durante su formación.

En la Figura 9, se muestra esquemáticamente la zona de la cámara de vapor en el cuerpo de una caldera.

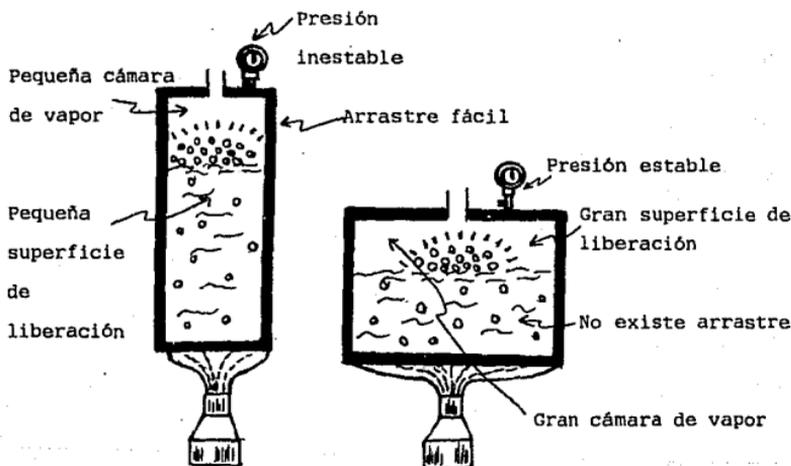


FIGURA 9

Cuerpo de una caldera y cámara de vapor
(Ref. 6)

B) HOGAR. El hogar de una caldera, llamado comunmente horno y fogón, es la cámara o espacio donde se lleva a cabo la combustión. Su forma y situación depende de cada tipo de caldera. En los casos de las calderas de Tubos de Humo (las cuales se describen posteriormente), el hogar está colocado en la parte inferior del envolvente y

debajo de la placa inferior de los tubos. En otros tipos de calderas, el hogar está colocado antes del cuerpo cilíndrico y forma una sola unidad con él.

C) CHIMENEA. La chimenea de una caldera, es el conducto por el que salen a la atmósfera el producto de la combustión y el calor no aprovechado. Tiene por objeto alejar los gases nocivos y producir el tiro que facilita la combustión.

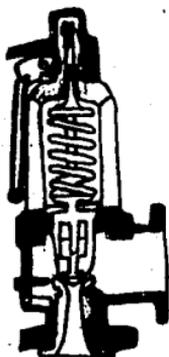
Se entiende por TIRO, la corriente de aire que se establece dentro de la chimenea causada por la diferencia de temperatura existente entre el aire interior de la misma y el aire exterior. Debido a que el aire interior es menos pesado que el exterior, el aire ligero se eleva y deja un vacío en la parte más baja de la chimenea, por lo que el aire exterior trata de forzar su entrada para ocupar dicho vacío y restablecer un equilibrio.

Para reducir la altura de la chimenea y obtener rapidez en la combustión con el tiro necesario, se usan chimeneas de poca altura con tiro inducido (provocada por vacío) o forzado (por inyección de aire caliente a la cámara de la caldera), según las necesidades.

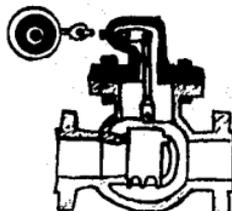
2.5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ACCESORIOS DE UNA CALDERA.

A continuación, se mencionan y se describen los accesorios de una caldera, con los que se obtiene un buen funcionamiento y seguridad. Estos accesorios son, entre los indispensables:

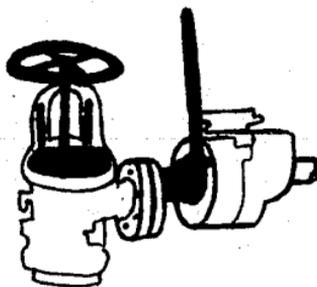
A) VALVULAS. Se utilizan principalmente las de seguridad y las de salida de purgas, las de retén y las de drene; éstas se esquematizan en la Figura 10.



Válvula de seguridad



Válvula reguladora de agua
de alimentación



Válvula de descarga

FIGURA 1C
Principales válvulas en
las calderas (Ref. 6)

B) **MANOMETRO.** La construcción de un manómetro se fundamenta ya sea en el conocimiento de los fenómenos de expansión de un diafragma debido al aumento de presión de un fluido o bien, por la tendencia a enderezarse de un tubo curvo, cerrado por uno de sus extremos cuando se le aplica presión de un fluido por el otro extremo. En el esquema de la Figura 11, se muestra un manómetro típico.

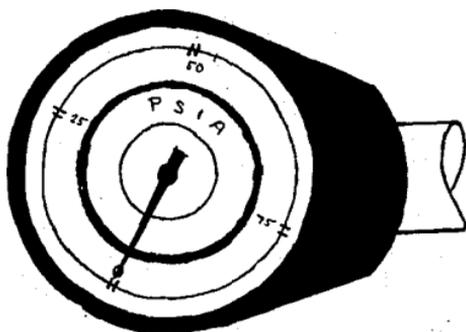


FIGURA 11
Manómetro típico (Ref. 6)

C) **INDICADOR DEL NIVEL DE AGUA.** Se denomina generalmente **CRISTAL** y es un tubo de vidrio especial (normalmente "Pyrex") de 12.7 milímetros de diámetro, comunicado con la cámara de vapor y con el agua de la caldera. Este cristal está conectado en sus extremos superior e inferior por medio de válvulas de cierre de la misma dimensión, con tuercas y estoperos para recibirlo. En el esquema de la Figura 12, se muestra el cristal o indicador del nivel de agua.

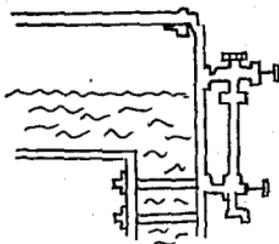


FIGURA 12

Indicador del nivel de agua

(Ref. 6)

D) **VENTILADOR.** Existen dos tipos básicos de ventiladores: el de flujo centrífugo o radial (Figura 13) y el de flujo axial (Figura 14). Los ventiladores centrífugos trabajan bajo el mismo principio de las bombas centrífugas; el aire entra por el ojo del ventilador y se le hace girar en forma de voluta por las aspas, o a través de un difusor que convierte la velocidad en presión.

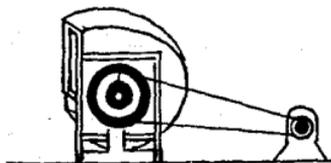


FIGURA 13

Ventilador centrífugo

(Ref. 6)

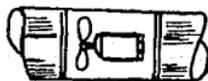


FIGURA 14

Ventilador axial

(Ref. 6)

2.5.4 CLASIFICACION DE LAS CALDERAS; DIVERSOS TIPOS.

Todas las calderas pueden clasificarse de dos maneras:

1.- Según circule el agua con respecto a los tubos, a) Tubos de Humo. El agua circula por fuera de los tubos y los gases de combustión por dentro de éstos.

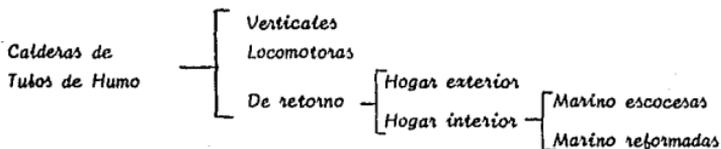
b) Tubos de agua. El agua va por dentro de los tubos; son generadores de vapor y las más útiles en la industria.

2.- Según el servicio a que estén destinadas, a) Estacionarias.

b) Marinas.

c) Locomotoras.

a) CALDERAS DE TUBOS DE HUMO. Su principal característica es su construcción consistente en la introducción de los tubos en el etvolvente. En el recipiente se debe tener un determinado nivel de agua para tener los tubos completamente sumergidos dentro de ella, pero al mismo tiempo se dispone de espacio para permitir la separación del vapor y las gotas de agua. Raras veces exceden los 8 pies de diámetro exterior y trabajan a bajas presiones (100 a 150 lb/pulg²) y se usan para demanda de poca capacidad (generalmente 15,000 a 20,000 lb/hr) y, como combustibles, pueden usar petróleo, gas o Carbón y, en algunos casos, madera, todos secos, etc. A continuación, se presentan las subclasificaciones de las calderas de Tubos de Humo.



En la Figura 15, se esquematiza una caldera e Tubos de Humo de tipo horizontal.

- | | | | |
|-------------|-------------------|----------------------|------------|
| A Manómetro | D Domo | G Registro de Hombre | J Cámara |
| B Vidrio | E Salida de vapor | H Chimenea | K Descarga |
| C Hogar | I Tubos | L Base de concreto | |

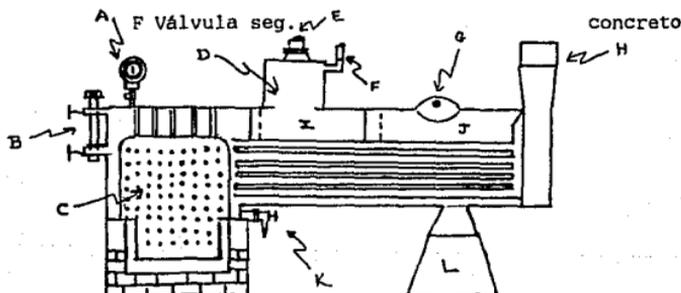


FIGURA 15

Caldera de Tubos de Humo de
Tipo horizontal (Ref. 6)

6) CALDERAS DE TUBOS DE AGUA. La combustión del Carbón pulverizado o "Stocker" y del Coque, proporcionan la calefacción por radiación para los tubos de este tipo de calderas. Su construcción consiste en el montaje de los tubos fuera de los colectores, además de que posee mamparas para la conducción de los gases. Debido a la

tendencia curva de los tubos, estas calderas son mas usadas debido a que se facilita la dilatación y contracción de los mismos. Al dilatarse éstos, aumenta la longitud y con ello, la superficie de calefacción, además de que son de fácil limpieza por contar con un registro de hombre accesible a la zona donde puede haber mayor incrustación.

Tomando en consideración las ventajas mencionadas, se demuestra la factibilidad de usar estas calderas en la industria, como generadores de vapor en gran capacidad y su aplicación a altas presiones. En la Figura 16, se esquematiza este tipo de caldera.

- | | | |
|------------------------|------------|----------------------|
| A Válvula de seguridad | D Domo | G Registro de Hombre |
| B Hogar | E Tubos | H Salida de vapor |
| C Manómetro | F Chimenea | I Mamparas |

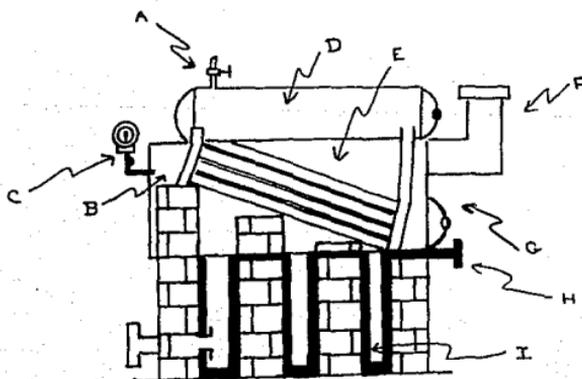


FIGURA 16

Caldera de Tubos de agua

(Ref. 6)

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO Y DISCUSION DEL PROBLEMA

3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.

En la Hacienda "La Ventilla" en Alcholoya, Hidalgo, será abierta una zona de recreo consistente en una alberca de aproximadamente 215,000 litros de capacidad y cuyas dimensiones se muestran en la Figura 17. Debido a que en la zona la Humedad es baja, no existe convección entre la superficie del agua y el medio ambiente, haciendo que el calor sea bajo dentro de la superficie, por lo que el agua de las albercas es fría, lo cual podría provocar a la larga, problemas de reumatismo en las personas que nadan en la zona. Es por ello que se ha pensado en el calentamiento del agua que entrará a la alberca mediante transferencia de calor. Para tal efecto, la Hacienda cuenta con una caldera de Tubos de Humo cuyas características y datos técnicos se mencionan en el siguiente inciso, y es mostrada en las fotografías de las Figuras 18, 19, 20 y 21.

Dado que la caldera no ha sido instalada, se pretende llevar a cabo un proyecto de instalación de un sistema que ayude a cumplir con los siguientes parámetros:

- * Cantidad de contaminantes permisibles en el agua entrante a la caldera.- Depende de la presión de trabajo; consultar la Tabla 5.
- * Temperatura de salida del agua de la caldera.- 35°C.
- * Pérdidas de agua en el sistema.- Deben ser prácticamente nulas.

Así mismo, se debe crear un dispositivo que ayude al aprovechamiento de los recursos tanto acuíferos como económicos de la Hacienda.

3.2 CARACTERISTICAS Y DATOS TECNICOS DE LA CALDERA.

CARACTERISTICAS. *Presión máxima de operación: 100 PSI (1)*

Capacidad evaporativa: 16,500 lb/hr (2)

Potencia: 6 C. C. (2)

Superficie de calentamiento: 175 ft.² (1)

Combustible: Gas casero (1)

DATOS TECNICOS. *Tipo de caldera: Tubos de humo, marino escocesa. (1).*

Marca: Lookout (1).

Modelo: S0- 20 (1).

Procedencia: Nacional. Ingeniería tralda de Chatanooga, Tenesee.

Año de adquisición: 1984 (3).

Condiciones de la caldera: Regulares.

Vida útil estimada: 7 años.

*Cabe destacar que este tipo de caldera, dada su obsolescencia técnica y funcional, ha sido sustituida en el mercado por equipo más actualizado, como las calderas de Tubos de humo de dos pasos de tipo compacto.***

(1).- Información leída directamente de la placa del proveedor.

(2).- Información tomada del catálogo de "Calderas Cleaver-Brooks".

(3).- Factura de compra - venta.

*** Para mayor información sobre este tipo de calderas, revisar los catálogos de Cleaver-Brooks, o solicitarla a los proveedores.*

ESCALA: 1-100

ACOTACION: Cm

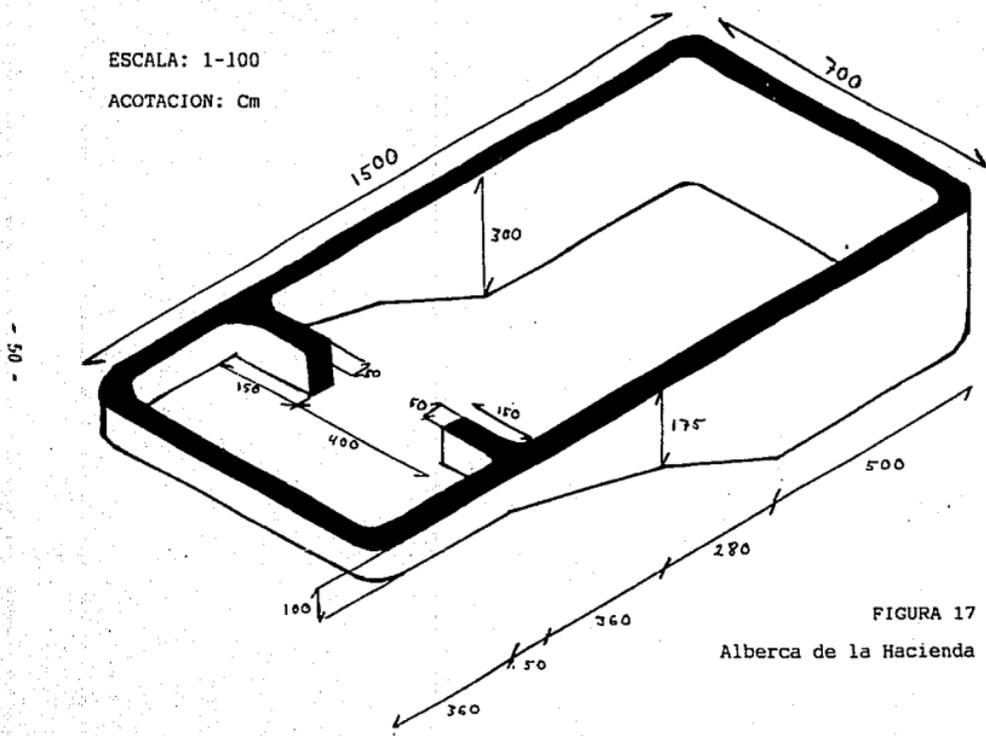


FIGURA 17

Alberca de la Hacienda "La Ventilla"



FIGURA 18

Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista lateral)



FIGURA 19

Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista frontal)



FIGURA 20

Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista trasera)

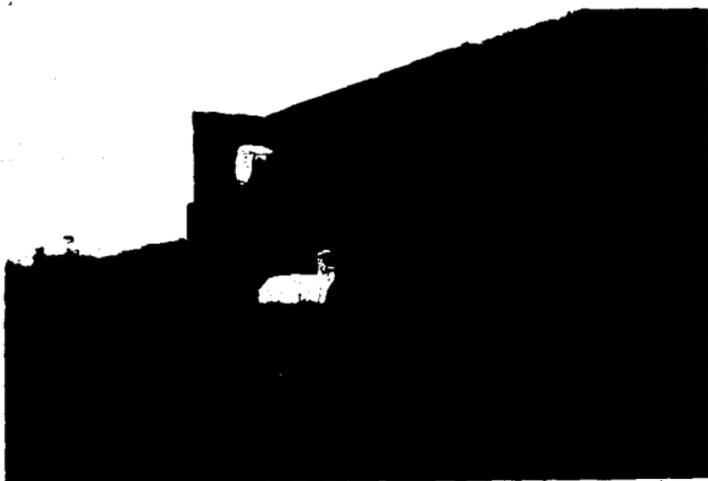


FIGURA 21

Caldera de la Hacienda "La Ventilla" (vista angular)

3.3 DISCUSION DEL PROBLEMA.

3.3.1 ESPECIFICACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

Antes que nada, se necesita partir de la base del Análisis del agua cruda y que será la que alimente a la caldera. Este Análisis nos ayudará a establecer un parámetro de comparación con la tabla del inciso 2.4.5 y así determinar el Sistema o dispositivo que ayudará a cumplir con los límites de control permisibles del agua de alimentación.

3.3.2 ESPECIFICACION DEL CIRCUITO DE RECIRCULACION.

Uno de los requerimientos del proyecto, es la recirculación del agua y evitar su desperdicio. Para poder cumplir con ello, se hará una revisión del espacio disponible en la Hacienda, que sirva como posible lugar de instalación del circuito de recirculación.

3.3.3 CALCULO DE VOLUMENES Y FLUJOS.

Una vez que se conozca el circuito, se mencionarán los flujos que han de manejarse, siendo los fundamentales: el volumen de agua que ocupe la alberca y la capacidad evaporativa de la caldera.

3.3.4 CALCULO DE CAIDAS DE PRESION Y POTENCIAS DE BOMBEO.

Después de conocer los flujos a manejar, se podrán calcular las caídas de presión alrededor del circuito mediante ecuaciones de Bernoulli, para que con ello se calculen también las potencias de bombeo que recuperen en lo posible tales caídas de presión.

3.3.5 BALANCE DE ENERGIA.

Otro requerimiento del proyecto es calentar el agua de la temperatura de entrada T_1 , a la temperatura de salida T_2 que, según prácticas sostenidas con encargados de

sistemas parecidos a éste, la ideal es de 35°C. Dado que ya se conocen las características principales de la caldera, no será necesario llevar a cabo un diseño térmico, por lo que el problema se reduce a un balance de calor. El agua no será evaporada, así que no se suministrará calor latente y por lo tanto se asegura una baja presión de trabajo.

3.3.6 RELACIONES ESTEQUIOMETRICAS.

Después de conocer la cantidad de calor necesario para lograr el aumento de temperatura requerido, y estimando una eficiencia de caldera, se podrá calcular la cantidad de aire y combustible necesarios mediante otro balance de calor y una relación estequiométrica aire-combustible que se presenta debido a la reacción entre éstos para efectuar la combustión. Una vez resuelto esto, con la ayuda de los proveedores, se conocerá la capacidad del ventilador y su respectivo quemador.

3.3.7 INSTRUMENTACION Y CONTROL DE LA CALDERA.

Para que el sistema funcione con seguridad y ofrezca un funcionamiento semiautomático, deben ser suministrados los dispositivos necesarios para su control, como son, principalmente, nivel de agua, detección de flama, control de presión y control de temperatura.

CCCCCC	AAAAAA	PPPPPP	IIIIII	TTTTTT	UU	UU	LL	000000			
CCCCCC	AAAAAA	PPPPPP	IIIIII	TTTTTT	UU	UU	LL	000000			
CC	AA	AA	PP	PP	III	TTT	UU	UU	LL	00	00
CC	AA	AA	PP	PP	III	TTT	UU	UU	LL	00	00
CC	AAAAAA	PP	PP	PP	III	TTT	UU	UU	LL	00	00
CC	AAAAAA	PPPPPP	III	TTT	UU	UU	LL	00	00		
CC	AA	AA	PP	III	TTT	UU	UU	LL	00	00	
CCCCCC	AA	AA	PP	IIIIII	TTT	UUUUUU	LLLLLL	000000			
CCCCCC	AA	AA	PP	IIIIII	TTT	UUUUUU	LLLLLL	000000			

```

IIIIIIIIIIIIIIII
IIIIIIIIIIIIIIII
  III  III  III
    III  III  III
      III  II  II
        III  XL  II
          III  II  II
            III  I  I
              III  III
                III  III
                  III  III
                    III  I
  IIIIIIIIIIIIIIIII
  IIIIIIIIIIIIIIIII

```

CAPITULO IV

RESOLUCION DEL PROBLEMA

4.1 ESPECIFICACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

En la Tabla 6, observamos los resultados obtenidos del análisis químico realizado por un Instituto de prestigio, los cuales corresponden a la identificación de los principales contaminantes contenidos en una muestra tomada de la cisterna que almacena el agua de servicio para la Hacienda "La Ventilla", y que es la misma que se utilizará para alimentar a la caldera.

TABLA 6
Resultados del análisis del agua

PARAMETRO	P P M TOTALES	P P M COMO CaCO_3
Alcalinidad M	161	132
Alcalinidad F	0	0
T O T A L	161	132
Oxígeno consumido	--	0.1
Sodio	24.77	53.87
Calcio	240.75	600.67
Magnesio	13.18	54.22
Aluminio	0.81	4.50
Silice	66.61	131.32
Cloruro	4.65	6.64

pH = 7.2

Temperatura ambiente = 17°C

En la Tabla 5, se mostraron los límites de control del agua permisibles para las calderas. De ahí, tomaremos los datos correspondientes al rango de presión mas bajo (0 - 20 Kg/cm²), además, como ya se dijo, no se pretende generar vapor, lo que permite trabajar a presiones bajas. Esto se justifica al ver la placa de identificación de la caldera (ver inciso 3.2), donde se lee una presión máxima de trabajo de 100 PSI, equivalentes a 7.8 Kg/cm².

Una vez observados los datos anteriores, con la Tabla 7 procederemos a comparar los parámetros reportados por el Instituto con los límites de control al rango de presión establecido.

TABLA 7
Comparación de valores del análisis de agua

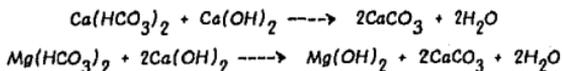
PARAMETRO	VALOR REPORTADO	VALOR PERMISIBLE
Alcalinidad	132	1,000
Dureza (Ca y Mg)	654.89	50
Sólidos	131.32	200
Sodio	53.87	700
OTROS	11.14	1,000
pH	7.2	8.5 - 12.7 (ver gráfica 1)

NOTA: Los valores anteriores estan en P P M como CaCO₃

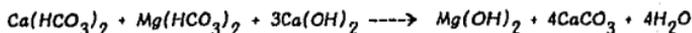
Como podemos ver, se requiere de un sistema de Tratamiento de agua capaz de eliminar la Dureza (Calcio y Magnesio), además de desplazar hacia un medio alcalino, mediante el aumento del pH. En el Apéndice 3, se muestran los reactivos que pueden ser empleados como suavizadores. Observando estos reactivos, además de los suavizadores por Intercambio Iónico, vemos que el mas factible es la CAL HIDRATADA (Ca(OH)₂), por su baja solubilidad y accesible costo. Al realizar el cálculo de la cantidad de

reactivo requerido para la suavización, debe tomarse en cuenta que se pretende aumentar el pH, por lo que se agregará un exceso de reactivo, para que la presencia de iones OH^{-1} desplace a un medio alcalino.

Para determinar la cantidad de reactivo requerido, consideraremos que la Alcalinidad a la Fenolftaleína es CERO (como se puede ver en la primera tabla), así que asumiremos que hay 66 P P M como CaCO_3 de Calcio y Magnesio como Bicarbonatos (ver inciso 2.4.2.3), presentándose las reacciones siguientes:

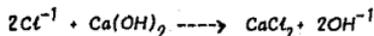


Sumando las dos ecuaciones, tenemos:

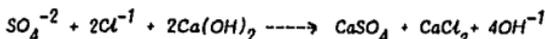


INICIO	11.78	54.22				
REACC.			120.22			
FINAL	0	0	0	54.22	132	132

Hasta aquí, se han removido todos los iones Magnesio, pero sólo el 2% del Calcio. Así, pues, ahora se asumirá que el resto del Calcio está presente como Cloruros y Sulfatos, por lo que se tienen las siguientes reacciones:



Sumando las dos anteriores ecuaciones, tenemos:



INICIO	585.57	6.64			
REACC			538.89		
FINAL	50	0	535.57	3.32	1,070.14

CANTIDAD DE $\text{Ca(OH)}_2 = 120.22 + 538.89 = 659.11$ P P M como CaCO_3

CANTIDAD DE Ca(OH)_2 TOTALES = 487 P P M

De esta manera, vemos que se requiere de 487 P. P. M. como sólidos totales de Cal Hidratada para disminuir la Dureza del agua hasta el límite requerido de 50 PPM. Como ya se dijo anteriormente, se agregará un exceso de reactivo que ayude al desplazamiento del pH a un medio alcalino, así que se agregará un total de 500 PPM como sólidos totales de Cal Hidratada.

Ahora, en el Apéndice 2, se proponen los diámetros del tanque de filtración en función de los Galones por Minuto requeridos. La bomba que alimenta al sistema trabaja a 50 GPM; en base a esto, tomaremos el próximo superior, que es de 57 GPM, donde se propone un tanque de 4 pies (1.22 mts.) de diámetro.

4.2 ESPECIFICACION DEL CIRCUITO DE RECIRCULACION.

Para la resolución de esta parte del problema, se realizó una inspección y medición del terreno disponible en la Hacienda. Después de hacerlo, se ha llegado

finalmente a la propuesta del circuito que se muestra en los siguientes dibujos:

FIGURA 22.- Zona trasera.

FIGURA 23.- Zona lateral.

FIGURA 24.- Zona frontal.

FIGURA 25.- Vista superior.

- * Se menciona con letras mayúsculas, cada uno de los componentes del sistema.*
- * Se representa con un número dentro de un rombo, los flujidos que circulan por las diversas tuberías.*
- * En los cuatro dibujos, la escala es de 1 : 200 y la acotación en centímetros.*

FIGURA 22. Zona trasera

Escala: 1:200

Acotación: CM

1 Gas

2 Agua

A.- Tanque de almacen. gas

B.- Tanque de almacen. agua

C.- Bomba p/cisterna

D.- Cisterna

- 19 -

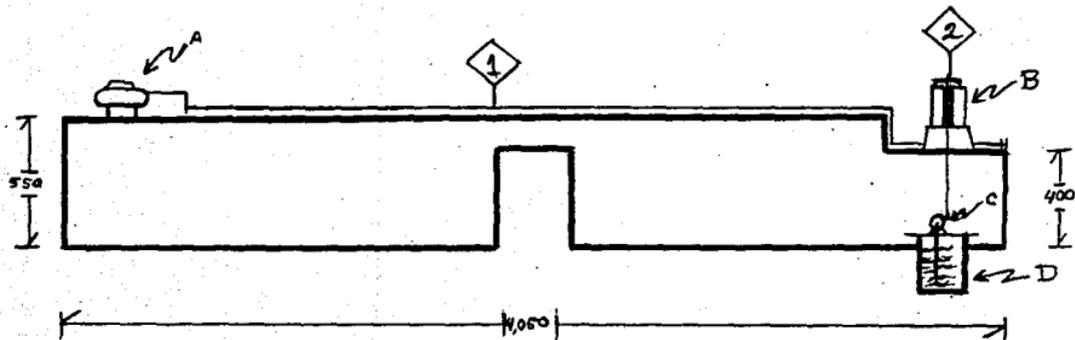


FIGURA 23. Zona lateral

Escala: 1:200

Acotación: CM

1 Gas

2 Agua

B.- Tanque de almacen. agua

E.- Tanque de suavización

F.- Filtro de arena

G.- Caldera

- 62

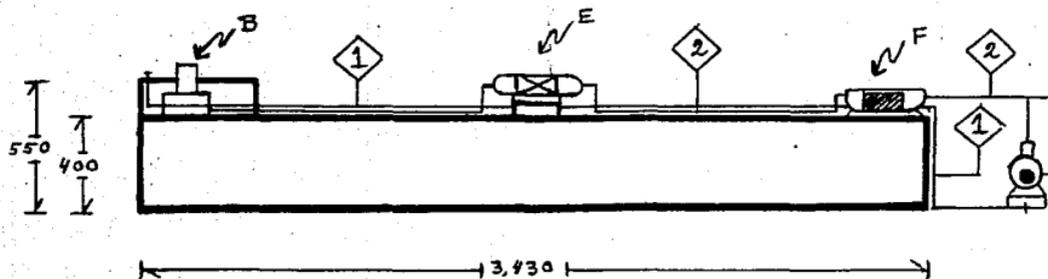


FIGURA 24. Vista frontal

Escala 1:200

Acotación: CM

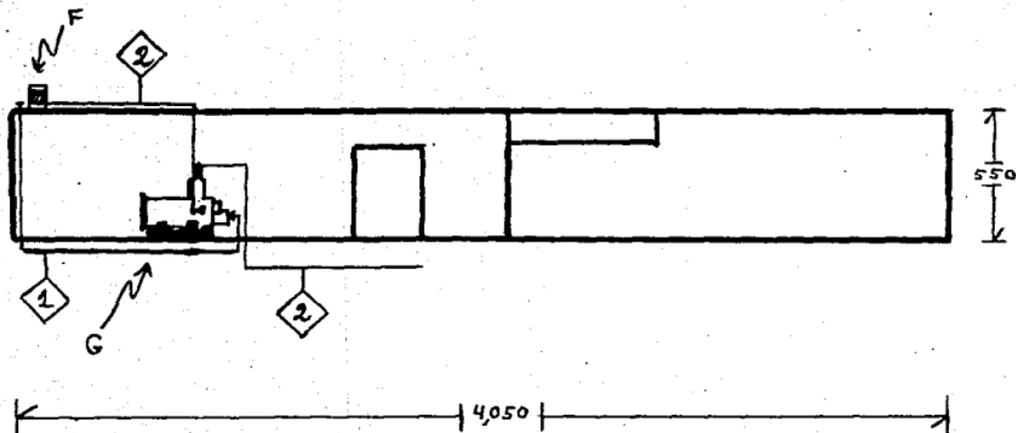
1 Gas

2 Agua

F.- Filtro de arena

G.- Caldera

- 63 -



4.3 CALCULO DE VOLUMENES Y FLUJOS.

4.3.1 CAPACIDAD DE LA ALBERCA.

Con la ayuda de la Figura 17, obtendremos el volumen aproximado necesario para llenar la alberca.

$$V_{\text{rectangulo 1}} = (360)(400 + 150 \times 2)(100) \text{cm}^3 = 2.52 \times 10^7 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{rectangulo 2}} = (50)(400)(100) \text{cm}^3 = 2 \times 10^6 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{rectangulo 3}} = (360)(700)(100) \text{cm}^3 = 2.52 \times 10^7 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{triangulo 1}} = \frac{(175 - 100)(360)(700) \text{cm}^3}{2} = 9.45 \times 10^6 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{rectangulo 4}} = (175)(280)(700) \text{cm}^3 = 3.43 \times 10^7 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{triangulo 2}} = \frac{(300 - 175)(280)(700) \text{cm}^3}{2} = 1.225 \times 10^7 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{rectangulo 5}} = (500)(300)(700) \text{cm}^3 = 1.05 \times 10^8 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{TOTAL}} = (25.2 + 2 + 25.2 + 9.45 + 34.3 + 12.25 + 105) \times 10^6 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{TOTAL}} = 213.4 \times 10^6 \text{cm}^3 = 213,400 \text{ts}$$

4.3.2 CAPACIDAD EVAPORATIVA DE LA CALDERA.

$$G_{\text{caldera}} = 16,500 \text{ lb/hr} = 2.079 \text{ Kg/seg}$$

4.3.3 PERDIDAS DE AGUA EN EL SISTEMA.

El sistema de recirculación tiene por objetivo el evitar la pérdida de agua dentro del sistema, aunque las posibles pérdidas sean debidas a evaporación causada por sobrecalentamiento en la caldera, no obstante estas serian mínimas.

4.4 CALCULO DE CAIDAS DE PRESION Y POTENCIAS DE BOMBEO.

Para la resolución de este inciso, se requiere de la ayuda de un pequeño dibujo que represente la proyección isométrica del sistema, para realizar la medición de la tubería, y se presenta en la Figura 26.

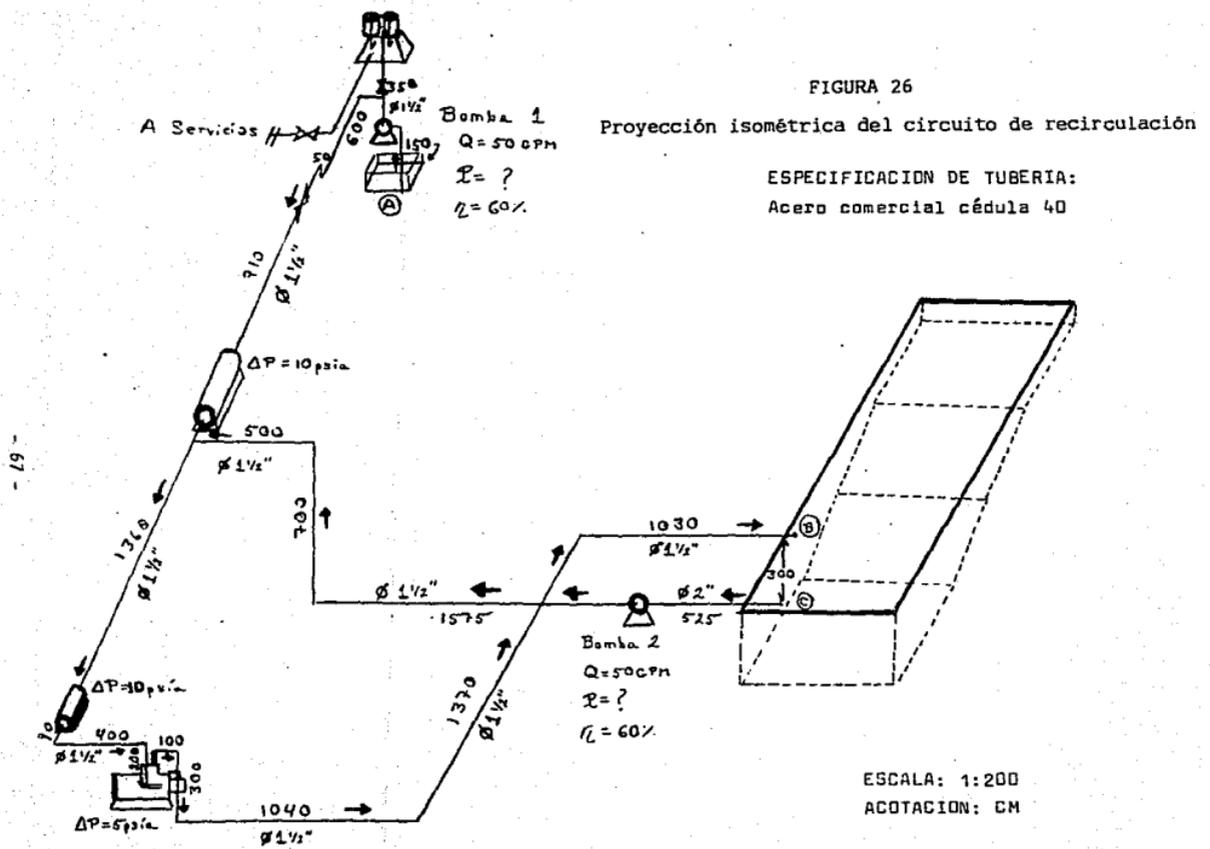


FIGURA 26

Proyección isométrica del circuito de recirculación

ESPECIFICACION DE TUBERIA:
Acero comercial cédula 40

ESCALA: 1:200
ACOTACION: CM

- 67 -

BERNOULLI DEL PUNTO "A" AL PUNTO "B":

$$\frac{(U_B^2 - U_A^2)}{2g_c} + \frac{(Z_B - Z_A)g}{g_c} + \frac{(P_B - P_A)}{\rho_L} = \frac{(-\mathcal{P} - \Sigma F)}{M}$$

DONDE: U: Velocidad

Z: Altura

P: Presión

g: Aceleración de la gravedad

g_c : Factor de relación de unidades gravitacionales

ρ_L : Densidad del fluido (agua)

\mathcal{P} : Potencia

ΣF : Pérdidas por fricción en tuberías

M: Flujo másico

Ecuación para calcular pérdidas por fricción:

$$\frac{\Sigma F}{M} = b_D \frac{(L/D)U^2}{2g_c}$$

DONDE: Re: Número de Reynolds

(L/D): Longitud equivalente

(e/D): Factor de rugosidad

Correlaciones de Churchill:

$$b_D = 8x \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + 1 / (A + B)^{3/2} \right]^{1/12}$$

DONDE: A y B son parámetros

$$\text{DONDE: } A = [2.457 \ln(1/((7/Re)^{0.9} + 0.27(e/D)))]^{16}$$

$$B = (37530/Re)^{16}$$

Para 1.5 pulg cédula 40, $D = 4.089\text{cm}$ (Apéndice 5).

$$* U_A = 0$$

$$U_B = \frac{50\text{GPM}(3.785\text{lt/gal})(1\text{min}/60\text{seg})(1\text{m}^3/1000\text{lt})}{(\pi/4)4.089^2\text{cm}^2(1\text{m}/100\text{cm})^2} = 2.4019\text{m/seg}$$

$$\frac{dU^2}{2g_c} = \frac{(2.4019^2 - 0^2)\text{m}^2/\text{seg}^2}{2(9.8\text{N/Kgf})} = 0.2941 \text{Kgf m/Kg}$$

$$* dZ = ((150 + 350 + 50) - (400 - 300))\text{cm} = 450\text{cm} = 4.5\text{mts}$$

$$\frac{dZg}{g_c} = 4.5\text{Kgf m/Kg}$$

$$g_c$$

$$* P_A = (P_{atm} + P_{hid}) = (1.0133 \times 10^5 + (150/100)(994)(9.8))\text{N/m}^2$$

$$P_A = 1.159 \times 10^5 \text{N/m}^2$$

$$P_B = P_{atm} = 1.0133 \times 10^5 \text{N/m}^2$$

$$\frac{(dP/p)_{tuberia}}{(994\text{Kg/m}^3)(9.8\text{N/Kgf})} = \frac{(1.159 - 1.0133) \times 10^5 \text{N/m}^2}{(994\text{Kg/m}^3)(9.8\text{N/Kgf})} = 1.496 \text{Kgf m/Kg}$$

$$\frac{(dP/p)_{suavizador}}{994\text{Kg/m}^3} = \frac{10\text{psia}}{994\text{Kg/m}^3} = \frac{7030\text{Kgf/m}^2}{994\text{Kg/m}^3} = 7.09 \text{Kgf m/Kg}$$

• Densidad del agua a 17°C (Temperatura de entrada)

$$(dP/\rho)_{\text{filtro}} = \frac{10 \text{ psia}}{994 \text{ Kg/m}^3} = \frac{7030 \text{ Kg/m}^2}{994 \text{ Kg/m}^3} = 7.09 \text{ Kg m/Kg}$$

$$(dP/\rho)_{\text{caldera}} = \frac{5 \text{ psia}}{994 \text{ Kg/m}^3} = \frac{3515 \text{ Kg/m}^2}{994 \text{ Kg/m}^3} = 3.543 \text{ Kg m/Kg}$$

$$(dP/\rho)_{\text{TOTAL}} = (1.496 + 7.09 + 7.09 + 3.543) \text{ Kg m/Kg}$$

$$(dP/\rho)_{\text{TOTAL}} = 19.219 \text{ Kg m/Kg}$$

* LONGITUD EQUIVALENTE: Longitud recta: 7890cm = 7.89m

(Apéndice 6)

8 codos 90°: 8 x 0.9m = 7.2m

1 "TE" salida directa: = 0.9m

1 valv. compuerta: = 0.3m

4 entradas:

3 directas: 3 x 0.5m

= 1.5m

1 de borde: = 1.0m

3 salidas: 3 x 1m = 3.0m

T O T A L: 92.8m

$$(L/D) = (92.8\text{m}/0.04089\text{m}) = 2269.5035$$

Cálculo del Número de Reynolds:

A 17°C: $\mu = 1.1 \text{ cp}$

$\rho = 994 \text{ Kg/m}^3$

$$Re = \frac{D \times U \times \rho}{\mu} = \frac{(0.0489m)(2.4019m/s)(994Kg/m^3)}{1.1 \times 10^{-3} Kg/m \cdot s} = 106134$$

Para Hierro colado o Acero comercial: $(e/D) = 0.0015$ (Apéndice 7)

Aplicando las correcciones de Churchill: $A = 1.61059 \times 10^{20}$

$$B = 5.976 \times 10^{-8}$$

$$b_D = 0.0238$$

$$\frac{\Sigma F}{M} = \frac{0.0238(2269.5035)(2.4019m/s)^2}{2(9.8N/Kg)} = 15.8874 Kg \cdot m / Kg$$

* Cálculo de la Potencia de la bomba 1:

$$\frac{-P}{M} = (0.2941 + 4.5 + 19.219 + 15.8874) Kg \cdot m / Kg = 39.8204 Kg \cdot m / Kg$$

$$M = 50GPM(3.7851lt/gal)(1min/60seg)(1m^3/1000lt)(994Kg/m^3)$$

$$M = 3.135 Kg/seg$$

$$-P = (39.8204Kg \cdot m / Kg)(3.135Kg/seg) = 124.8369 Kg \cdot m / seg = 1.64 H.P.$$

$$P_{REAL} = \frac{1.64 H.P.}{0.6} = 2.74 H.P.$$

BERNOULLI DEL PUNTO "C" AL PUNTO "B":

$$\frac{(U_B^2 - U_C^2)}{2g_c} + \frac{(Z_B - Z_C)g}{g_c} + \frac{(P_B - P_C)}{\rho_L} = \frac{(-\dot{V} - \Sigma F)}{M}$$

Para 2 pulg. cédula 40, D = 5.25cm (Apéndice 5).

$$* U_C = 0$$

$$U_B = \frac{(50\text{GPM})(3.785\text{lt/gal})(1\text{min}/60\text{seg})(1\text{m}^3/1000\text{lt})}{(\pi/4)(5.25\text{cm})^2(1\text{m}/100\text{cm})^2} = 1.457 \text{ m/seg}$$

$$\frac{dU^2}{2g_c} = \frac{(1.457^2 - 0^2) \text{ m}^2/\text{seg}^2}{2(9.8\text{N/Kg})} = 0.1082 \text{ Kg} \cdot \text{m/Kg}$$

$$* dZ = (700 - 300)\text{cm} = 400\text{cm} = 4\text{mts}$$

$$\frac{dZg}{g_c} = 4 \text{ Kg} \cdot \text{m/Kg}$$

$$* P_C = P_{atm} + P_{hid} = 1.0133 \times 10^5 \text{ N/m}^2 + (3\text{m})(992.6\text{Kg/m}^3)(9.8\text{m/s}^2)$$

$$P_C = 1.305 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_B = P_{atm} = 1.0133 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{(dP/p)_{tuberia}}{(992.6\text{Kg/m}^3)(9.8\text{N/Kg})} = \frac{(1.305 - 1.0133) \times 10^5 \text{ N/m}^2}{(992.6\text{Kg/m}^3)(9.8\text{N/Kg})} = 2.996 \text{ Kg} \cdot \text{m/Kg}$$

$$(dP/p)_{filtro} + (dP/p)_{caldera} = (7.09 + 3.543) \text{ Kg} \cdot \text{m/Kg}$$

• Densidad del agua a 26°C (promedio entrada - salida).

$$(dP/\rho)_{\text{filtro}} + (dP/\rho)_{\text{caldera}} = 10.633 \text{ Kg} \cdot \text{m}/\text{Kg}$$

$$(dP/\rho)_{\text{TOTAL}} = (2.996 + 10.633) \text{ Kg} \cdot \text{m}/\text{Kg}$$

$$(dP/\rho)_{\text{TOTAL}} = 13.629 \text{ Kg} \cdot \text{m}/\text{Kg}$$

* LONGITUD EQUIVALENTE:

(Apéndice 6)

Para D = 1.5 pulg.	Longitud recta: 8655cm	= 86.55m
	8 codos 90': 8x0.9m	= 7.20m
	1 "TE" salida lateral:	= 2.80m
	3 entradas: 3x1.0m	= 3.00m
	3 salidas: 3x1.00m	= 3.00m
	T O T A L:	102.55m

$$(L/D) = (102.55\text{m}/0.04089\text{m}) = 2507.95$$

Para D = 2 pulg.	Longitud recta: 525cm	= 5.25m
	1 entrada:	= 1.50m
	1 salida:	= 1.50m
	T O T A L	8.25m

$$(L/D) = (8.25\text{m}/0.0525\text{m}) = 157.143$$

$$\text{Temperatura promedio} = ((35 + 17)^\circ\text{C})/2 = 26^\circ\text{C}$$

Cálculo del Número de Reynolds:

$$\text{A } 26^{\circ}\text{C: } \mu = 0.88 \text{ cp}$$

$$\rho = 992.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Para } D = 1.5 \text{ pulg: } Re = \frac{(0.04089 \text{ m})(992.6 \text{ Kg/m}^3)(2.4019 \text{ m/s})}{0.88 \times 10^{-3} \text{ Kg/m s}}$$

$$Re = 111024$$

$$\text{Del Apéndice 7: } (e/D) = 0.0015$$

$$\text{Aplicando las correlaciones de Churchill: } A = 1.65 \times 10^{20}$$

$$B = 2.906 \times 10^{-8}$$

$$b_D = 0.02376$$

$$\frac{\Sigma F}{M} = \frac{0.02376(2507.95)(2.4019 \text{ m/s})^2}{2(9.8 \text{ N/Kg } b)} = 17.5294 \text{ Kg } b \text{ m/Kg}$$

$$\text{Para } D = 2 \text{ pulg: } Re = \frac{(0.0525 \text{ m})(992.6 \text{ Kg/m}^3)(1.457 \text{ m/s})}{0.88 \times 10^{-3} \text{ Kg/m s}}$$

$$Re = 88280$$

$$\text{Del Apéndice 7: } (e/D) = 0.00092$$

$$\text{Aplicando las correlaciones de Churchill: } A = 2.66 \times 10^{20}$$

$$B = 1.642 \times 10^{-6}$$

$$b_D = 0.0224$$

$$\frac{\Sigma F}{M} = \frac{0.0224(157.143)(1.457 \text{ m/s})^2}{2(9.8 \text{ N/Kg } b)} = 0.38074 \text{ Kg } b \text{ m/Kg}$$

$$\frac{\Sigma F}{M} \text{ TOTAL} = (17.5294 + 0.38074) \text{ Kg} \text{ m/Kg} = 17.91 \text{ Kg} \text{ m/Kg}$$

* Cálculo de la Potencia de la bomba 2:

$$\frac{-\mathcal{P}}{M} = (0.1082 + 4 + 13.629 + 17.91) \text{ Kg} \text{ m/Kg} = 35.6472 \text{ Kg} \text{ m/Kg}$$

$$M = 50\text{GPM}(3.785\text{lt/gal})(1\text{min}/60\text{seg})(1\text{m}^3/1000\text{lt})(997.6\text{Kg/m}^3)$$

$$M = 3.1464 \text{ Kg/seg}$$

$$-\mathcal{P} = (35.6472\text{Kg} \text{ m/Kg})(3.1464\text{Kg/seg}) = 112.1604 \text{ Kg} \text{ m/Kg}$$

$$-\mathcal{P} = 1.47 \text{ H. P.}$$

$$\mathcal{P} \text{ REAL} = \frac{1.47 \text{ H. P.}}{0.6} = 2.45 \text{ H. P.}$$

4.5 BALANCE DE ENERGIA.

* DATOS: Temperatura de entrada (T_1) = 17°C

Temperatura de salida (T_2) = 35°C

Gasto volumétrico = 50GPM = 189.25lt/min

Flujo másico: $M = (189.25\text{lt/min})(0.9926\text{Kg/lt})$

$$M = 187.851 \text{ Kg/min}$$

* PLANTEAMIENTO: $Q_{H_2O} = Q_{comb} \times \eta$

$$Q_{H_2O} = M \times dH + \lambda_L$$

Donde : Q_{H_2O} = Calor requerido por el agua.

Q_{comb} = Calor suministrado por combustión.

η = Eficiencia de la caldera (70% según condiciones).

dH = Cambio de entalpía ($dH = C_p \times dT$).

$$C_p = 1 \text{ Kcal/}^\circ\text{C Kg}$$

dT = Diferencia de temperaturas.

λ_L = Calor latente de vaporización (CERO, en este caso).

* CALCULOS:

$$Q_{H_2O} = (187.851 \text{ Kg/min})(1 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C})(35 - 17) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{H_2O} = 3381.34 \text{ Kcal/min}$$

Porcentaje de operación de la caldera:

$$\text{Del inciso 4.3.2: } G_{caldera} = 2.079 \text{ Kg/seg}$$

A la altura de Alcholoaya, Hidalgo, que es de aproximadamente 2,530 metros sobre el nivel del mar, el agua se evapora a 91.7°C, por lo que:

$$Q_{\max} = (2.079 \text{ Kg/seg})(1 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C})(91.7 - 17) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\max} = 155.38 \text{ Kcal/seg}$$

Ahora, lo compararemos con la cantidad de calor requerido por el flujo másico que se manejará:

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = 3381.34 \text{ Kcal/min} = 56.356 \text{ Kcal/seg}$$

De esta manera, se puede observar que se está trabajando la caldera a una capacidad aproximada de un 36% de su totalidad; además, tómesese en cuenta que no se está evaporando, por lo que se puede considerar más baja dicha capacidad de operación.

$$Q_{\text{comb}} = Q_{\text{H}_2\text{O}}/0.7 = \frac{3381.34 \text{ Kcal/min}}{0.7}$$

$$Q_{\text{comb}} = 4830.5 \text{ Kcal/min}$$

$$Q_{\text{comb real}} = Q_{\text{comb}} + 5\% = 5072.0 \text{ Kcal/min}$$

4.6 RELACIONES ESTEQUIOMETRICAS.

$$Q_{\text{comb real}} = M_{\text{comb}} \times dH_{\text{comb}}$$

Donde: M_{comb} = Flujo másico del combustible.

dH_{comb} = Entalpia promedio de combustión.

Para este caso: $dH_{comb} = (dH_{Propano} + dH_{n-Butano})/2$

Del Apéndice 8: $dH_{Propano} = 21,661 \text{ BTU/lb} = 12,059 \text{ Kcal/Kg}$

$dH_{n-Butano} = 21,308 \text{ BTU/lb} = 11,862 \text{ Kcal/Kg}$

$dH_{comb} = \frac{(12,059 + 11,862) \text{ Kcal/Kg}}{2} = 11960.5 \text{ Kcal/Kg}$

* Cálculo del flujo másico del combustible.

$M_{comb} = Q_{comb \text{ real}} / dH_{comb}$

$M_{comb} = (5072.0 \text{ Kcal/min}) / (11960.5 \text{ Kcal/Kg})$

$M_{comb} = 0.4241 \text{ Kg de combustible / min}$

* Relación aire-combustible para gas casero:

(ver Apéndice 8)

Para Propano: Oxígeno = 3.629 lb de O_2 /lb de comb.

Nitrógeno = 12.074 lb de N_2 / lb de comb.

T O T A L = 15.713 lb de aire/lb de comb.

Para n-Butano: Oxígeno = 3.579 lb de O_2 /lb de comb.

Nitrógeno = 11.908 lb de N_2 /lb de comb.

T O T A L = 15.487 lb de aire/lb de comb.

Relación teórica promedio aire-combustible:

Relación = $\frac{(15.713 + 15.487) \text{ lb de aire/lb de comb.}}{2}$

= 15.6 lb de aire/lb de comb.

= 15.6 Kg de aire/Kg de comb.

Relación real = Relación teórica + 15%

Relación real = 17.94 Kg aire / Kg comb.

* Cálculo de la cantidad de aire requerido.

$$M_{\text{aire}} = (\text{Relación real})(M_{\text{comb}})$$

$$M_{\text{aire}} = (17.94 \text{ Kg aire / Kg comb})(0.4241 \text{ Kg comb / min})$$

$$M_{\text{aire}} = 7.61 \text{ Kg aire / min}$$

* Cálculo del tiempo de operación del Sistema.

$$\text{Del inciso 4.3.1 : } V_{\text{TOTAL}} = 213,400 \text{ lts} = 213,400 \text{ Kg}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = (213,400 \text{ Kg})(1 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C})(35 - 17)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 3'841,200 \text{ Kcal}$$

$$t_{\text{operación 1}} = (Q_{\text{TOTAL}} / Q_{\text{H}_2\text{O}}) = \frac{3'841,200 \text{ Kcal}}{56.356 \text{ Kcal/seg}}$$

$$t_{\text{operación 1}} = 68,160 \text{ seg} = 18 \text{ hs, } 56 \text{ min}$$

El tiempo arriba calculado, es el tiempo para alcanzar la temperatura máxima de 35°C a partir de la temperatura de 17°C, o sea, se ha trabajado un rango de 18°C. Ahora, vamos a calcular el tiempo de operación del Sistema para un rango de temperatura más chico, logrando con ello un tiempo más moderado. Se vio

ESTA TESIS NO DEBE
- 79 - SALIR DE LA BIBLIOTECA

que el rango más aceptable es de 5°C, y se conseguirá que el Sistema trate a dicho rango mediante la colocación de un dispositivo de control que arranque a una temperatura de 30°C y se detenga a una temperatura máxima de 35°C. La propuesta de este dispositivo se detallará en el siguiente inciso.

$$Q_{TOTAL} = (213,400 \text{ Kg})(1 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C})(5^\circ\text{C})$$

$$Q_{TOTAL} = 1'067,000 \text{ Kcal}$$

$$t_{operación\ 2} = \frac{1'067,000 \text{ Kcal}}{56.356 \text{ Kcal/seg}} = 18,933 \text{ seg}$$

Ahora, bien, digamos que el funcionamiento del dispositivo de control se repetirá tres veces, por lo que:

$$t_{operación\ 2} = 3(18,933 \text{ seg}) = 56,800 \text{ seg} = 15\text{hs}, 46\text{min}, 40\text{seg}$$

$$t_{TOTAL} = (68,160 + 56,800) \text{ seg} = 124,960 \text{ seg}$$

$$t_{TOTAL} = 34 \text{ hs}, 42 \text{ min}, 40 \text{ seg}$$

* Cálculo del volúmen del tanque de gas.

$$\text{Del inciso 4.6: } M_{comb} = 0.4241 \text{ Kg/min} = 7.068 \times 10^{-3} \text{ Kg/seg}$$

De la bibliografía: Densidad promedio del gas casero: 520 Kg/m³

$$G_{comb} = \frac{7.068 \times 10^{-3} \text{ Kg/seg}}{520 \text{ Kg/m}^3} = 1.359 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg}$$

El tiempo total de operación que fue calculado anteriormente, dio como resultado 34 horas con 43 minutos; pero para contar con un sobrediseño y tener más reserva de combustible, aumentaremos dicho tiempo a 36 horas (129,600 seg), por lo que:

$$V_{\text{tanque comb}} = (1.359 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg})(129,600 \text{ seg}) = 1.762 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tanque comb}} = 1,762 \text{ litros}$$

4.7 INSTRUMENTACION Y CONTROL DE LA CALDERA.

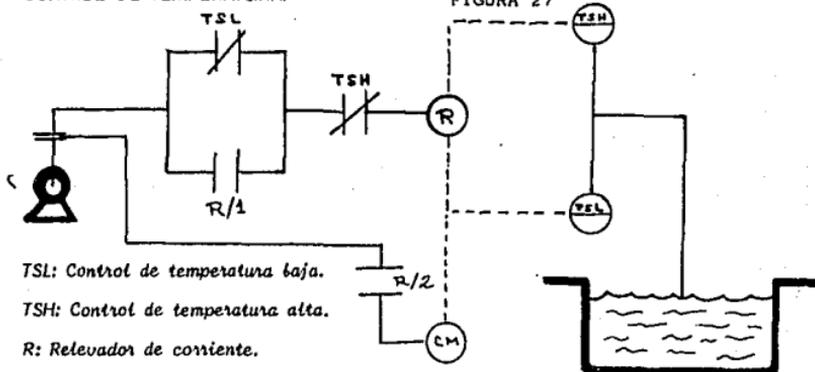
- * Variables a controlar: Temperatura
Nivel de agua
Presión

- * Por disposición del sistema: Temperatura

- * Por seguridad: Nivel de agua
Presión
Detección de flama

A continuación, se representa mediante dibujos y Diagramas sencillos de tubería e instrumentación, los dispositivos que se requieren para el control de las variables mencionadas.

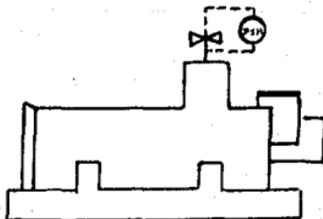
CONTROL DE TEMPERATURA.



La medición de temperatura se realizará en el agua. Como ya se mencionó, se controlará tanto la temperatura máxima como la mínima, manejando un rango de 5°C. Mediante el uso de contactos para ALTA y BAJA, además de un relevador de corriente, se logrará el encendido y apagado del sistema cuando el tablero marque la temperatura máxima o mínima, según corresponda.

CONTROL DE PRESION.

FIGURA 28



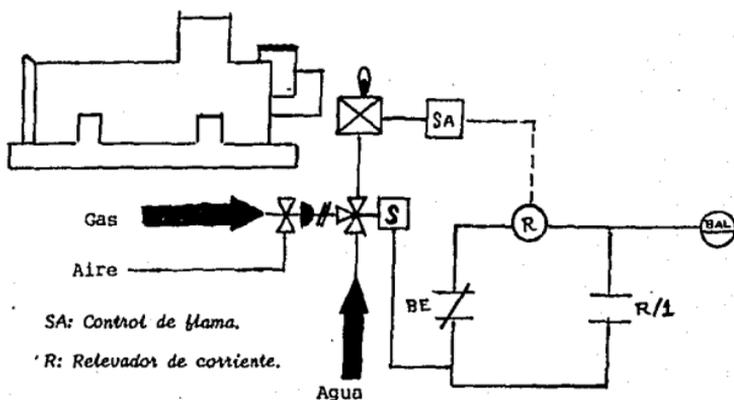
PSH: Control de presión alta.

Mediante la colocación de una válvula de seguridad, se logrará la

regulación de la presión en el sistema, la cual será accionada al momento que el manómetro lea una presión mayor a la que trabaja el sistema.

CONTROL DE FLAMA.

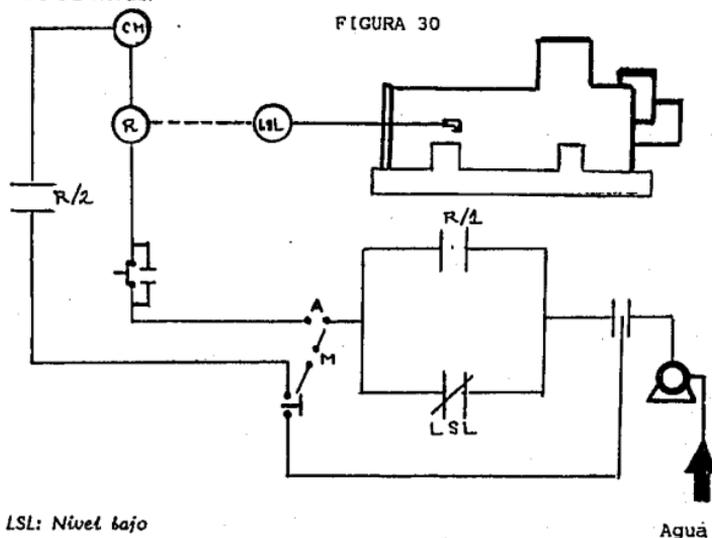
FIGURA 29



Con la ayuda de una válvula solenoide de tres pasos especial para gas, y el mismo dispositivo de relevo que el usado para el control de temperatura, se logrará el control de flama del sistema.

CONTROL DE NIVEL.

FIGURA 30



LSL: Nivel bajo

R: Relevador de corriente

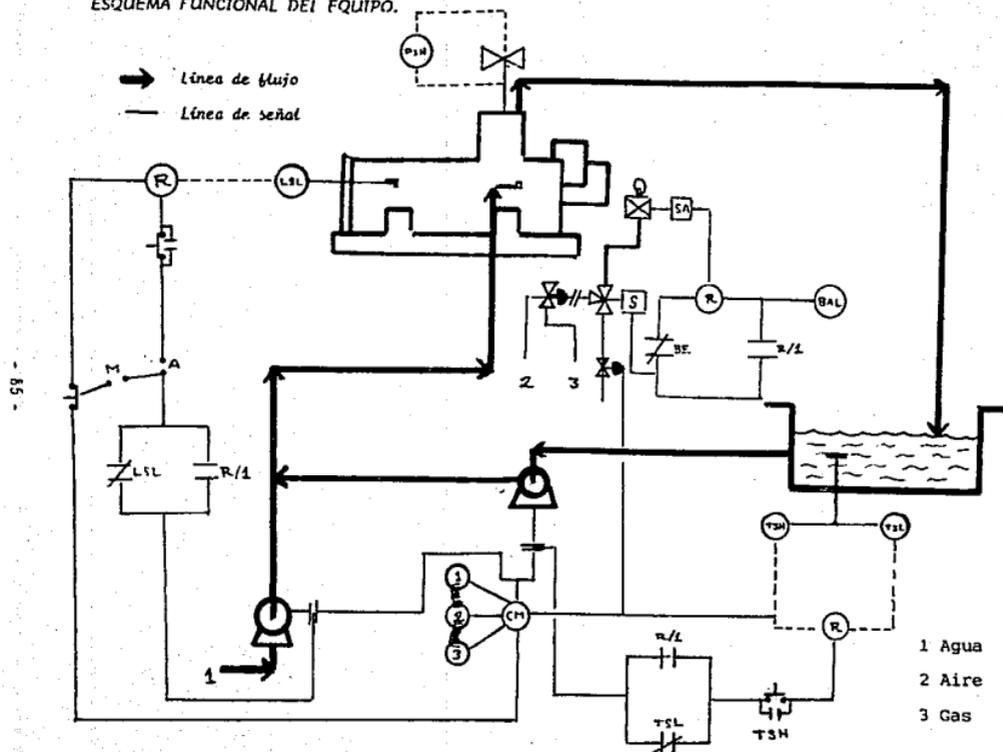
A: Automático

M: Manual

Ayudados de un sistema de relevo semejante al usado en el control de temperatura, y manejando un nivel alto de agua adecuado, se logrará el control de esta variable.

De esta manera, se pueden relacionar todos los dispositivos de control en forma funcional, como a continuación se representa:

FIGURA 31
 ESQUEMA FUNCIONAL DEI EQUIPO.



CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

A 1993

5.1 ESTIMACION DE COSTOS DE EQUIPO E INSTALACION.

Para llevar a cabo la estimación del costo total del proyecto, tomaremos en cuenta principalmente costos de equipo y costos de instalación. De esta manera, partiremos de un inventario de todo el equipo requerido, clasificándolo según su funcionamiento y describiéndolo lo mas ampliamente posible, con el objeto de que los proveedores proporcionen el costo mas exacto. Así, pues, se elaboró la Tabla 8.

TABLA 8

Inventario de equipo y costos estimados

CLASIFICACION	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO APROX. OBTENIDO POR COTIZACION
Tanques	Equipo suavizador por precipitación en frío capacidad de 50GPM/ft ² compuesto por agitador c/ motorreductor, tanque atmosferico de 1.25m de diam. y 1.5m alto capacidad de 4.5GPM/ft ²	1	N\$ 1,055** (N\$1,055**)
Tanques	Tanque para filtrar con Antracita y arena tipo	1	N\$ 985** (N\$ 985**)

TABLA 8 (cont.)

vertical, espesor de
 $\frac{1}{4}$ pulg en material
 Acero inox. diametro
 de 1.25m y 1.5m atto
 capacidad de 4.5GPM/ft²

Tanques	Tanque estacionario, capacidad de 2,500 lts	1	N\$ 2,370** (N\$ 2,370**)
Tubería	Rack para agua material acero inox. cédula 40, $1\frac{1}{4}$ pulg diam	105 mts	N\$ 124**/m (N\$ 13,020**)
Tubería	Codos para rack, material Acero inox. de $1\frac{1}{4}$ pulg de diametro.	11	N\$ 65**/pza (N\$ 715**)
Tubería	Rack para agua, material Acero inox. cédula 40, 2 pulg diam.	6 mts	N\$ 163**/m (N\$ 978**)
Tubería	Rack para gas, material Acero inox. cédula 40 de 1 pulg. de diametro.	92 mts	N\$ 84**/m (7,732**)

TABLE B (cont.)

Motores	Bomba centrífuga, succ de 2 pulg. y desc. de 1¼ pulg, motor de 3 H. P., gesto de 50 GPM, material Hierro colado.	2	N\$ 1,020**/pza (N\$2,040**)
Motores	Sistema ventilador c/ quemador p/ caldera capacidad de ventilador de 10Kg/min con una relación aire-combust. de 18.	1	N\$ 1,370** (N\$ 1,370**)
Instrumentación	Acuóstato, rango de 20°C, accionado por corriente directa, 120V 60 ciclos.	1	N\$ 288**/pza (N\$ 288**)
Instrumentación	Válvula de seguridad, diámetro 1¼ pulg material Acero al Carbón, para una presión máx. de 20Kg/cm ²	1	N\$ 320**/pza (N\$ 320**)

TABLA 8 (cont.)

Instrumentación	Detector de flama, para tubería de 1 pulg. de diámetro, accionada por Luz Ultravioleta.	1	N\$ 826**/pza (N\$ 826**)
Instrumentación	Indicador de nivel material vidrio PVREX diámetro de 1½ pulg. y altura de 1½ mts.	1	N\$ 720**/pza (N\$ 720**)
Instrumentación	Flotador vertical de varilla c/válvula, para alimentación de agua de recuperación.	1	N\$ 1,361**/pza (N\$ 1,361**)
Instrumentación	Válvula solenoide de dos pasos, diámetro de 1 pulg. con sistema aislante contra chispa.	1	N\$ 730**/pza (N\$ 730**)
Tablero de control	Relevadores de energía, para corriente directa, 120 Volts, 60 ciclos	3	N\$ 73**/pza (N\$ 219**)

TABLA 8 (cont.)

Tablero de control	Juego de contactos, para relevadores de corriente directa, 120 volts, 60 ciclos.	6	N\$ 38**/pza (N\$ 228**)
			T O T A L
			N\$ 34,957**

Hasta aquí, se ha conseguido estimar el costo comercial del Sistema. Ahora, debe tomarse en cuenta un 10% más de desembolso al momento de adquirir el equipo, por concepto del Impuesto al Valor Agregado (I. V. A.), por lo tanto:

$$\text{Costo total facturado} = (\text{N\$ } 34,957^{**}) \times 1.1$$

$$\text{Costo total facturado} = \text{N\$ } 38,453^{**}$$

COSTO DE INSTALACION.

Estos costos van relacionados al tiempo de trabajo por instalador, conocido como HORAS - HOMBRE. Así, pues, para efectos de este estudio económico, asumiremos que todas las personas trabajan las mismas horas, con el objeto de simplificar los cálculos. De esta manera, los costos estimados de instalación han sido calculados en función del número de personas a emplear en la instalación del sistema y al tiempo que laborarían éstas. Los resultados obtenidos se sintetizan en la Tabla 9.

INSTALADOR	NUMERO DE HOMBRES	COSTO APROX. DE 1 HORA-HOMBRE	TIEMPO DE LABORACION	COSTO TOTAL
Mecánico	2	N\$ 19.95	10 días (80 hs)	N\$ 3,192**
Eléctrico	2	N\$ 26.60	10 días (80 hs)	N\$ 4,256**
Instrumentista	2	N\$ 39.90	10 días (80 hs)	N\$ 6,384**
				T O T A L
				N\$ 13,832**

TABLA 9

Costos de instalación por Hora-Hombre

BASES DE ELABORACION DE LOS COSTOS DE EQUIPO E INSTALACION.

Como se dijo al principio del Capítulo, la mayoría de los costos fueron obtenidos al basarse directamente del costo de los proveedores; tal es el caso de todos los equipos clasificados como instrumentación, tubería, motores y tablero de control. Los tanques fueron evaluados en base al costo por metro cuadrado de placa de acero inoxidable, y se tomó el de placa de 1/2 pulgada de espesor, el cual está en el mercado a N\$ 563**.

Proveedores que cotizaron el equipo:

INSTRUMENTACION: Controles Especiales, S. A.

Tel. 5-12-94-63

Sr. Vicente Coadún Pérez

TUBERIA: Aceros Industrializados de Oriente, S. A. de C. V.

Tel. 5-82-27-86

Sr. Manuel Rubio de la Mora

MOTORES: Bombas y Control de Fluidos, S. A. de C. V.

Tel. 5-27-14-02

Ing. Rosendo Velazco

TABLERO DE CONTROL: Electromexicana

Tel. 3-41-90-97

Lic. Boris Dinter H.

Finalmente, los costos de instalación fueron obtenidos conforme al folleto expedido semestralmente por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, donde se estipula que, según el grado de riesgo a que se someta el instalador, será el monto de su salario por Hora-Hombre y está en función del salario mínimo del D. F.

GRAN TOTAL POR = N\$ 52,285**

EQUIPO E INSTALACION

5.2 RENDIMIENTO ECONOMICO DEL PROYECTO DURANTE EL PRIMER AÑO DE FUNCIONAMIENTO.

ENERGIA ELECTRICA.

En el inciso 4.6, vimos que el tiempo de operación es de 3 horas. Igualmente, del inciso 4.4 obtuvimos las potencias de bombeo, siendo la comercial próxima mayor, de 3 H. P., equivalentes a 2.2371 K·Watt. De esta forma, tenemos:

$$\begin{aligned} \text{K·Watt hora consumidas} &= (36 \text{ horas})(2.2371 \text{ K·Watt}) \\ &= 80.54 \text{ K·Watts hora.} \end{aligned}$$

$$\text{Costo del K·Watt·hora} = \text{N\$ } 0.092**$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de la primera puesta en marcha} &= (\text{N\$ } 0.092** / \text{K·Watt hora})(80.54 \text{ K·Watt hora}) = \\ & \text{N\$ } 7.41 \end{aligned}$$

Después de la primera puesta en marcha, que sirve básicamente para llenar la alberca, solamente funcionará una bomba, que es la número 2 mostrada en el isométrico del inciso 4.4; de esta forma, se tomará a partir de aquí el tiempo de operación 2, calculado al final del inciso 4.6. Vamos ahora a estimar el rendimiento económico del proyecto durante el primer año de operación, así que diremos que durante este período, el Sistema funcionará aproximadamente 200 veces, por lo tanto:

Costo de operación = (15,78hs)(2,2371 KW)(N\$0.092**/KW·hr)(200 func./año)
durante el primer año

= N\$ 649,50/año

COSTO TOTAL POR = N\$ 656,95

ENERGIA ELECTRICA

COMBUSTIBLE.

En la parte final del inciso 4.6, se vio que el volumen del tanque de gas es de 1,762 litros; aumentando al volumen próximo comercial, éste es de 2,000 litros. Al igual que en el punto anterior, se estimará el costo de combustible durante el primer año de funcionamiento, así que supondremos que durante tal periodo, el tanque será cargado aproximadamente 20 veces, por lo tanto:

Costo comercial del combustible = N\$ 0.33/titro

Costo total del combustible
durante el primer año = (2,000 litros)(N\$ 0.33/lt)(20 func./año)

COSTO TOTAL POR = N\$ 13,200**

COMBUSTIBLE

AGUA.

En el supuesto de que el Sistema de recirculación no existiese, se tendría que cargar la alberca más de una vez, provocando un enorme gasto por pago de agua y,

sobre todo, un desperdicio considerable de la misma. Si así fuese, calcularemos el costo por cargar la atberca más de una vez:

$$\begin{array}{l} \text{Número de veces que puede} \\ \text{ser llenada la atberca en} \\ \text{un año} \end{array} = \frac{(365 \text{ días})(24 \text{ hs/día})(60 \text{ min/hr})}{187,851 \text{ lt/min}} = 462$$

213,400 lbs

Vamos a suponer que no se cubren todas estas cargas de la atberca, sino solamente una vigésima parte de el valor obtenido, o sea, 20 veces, por lo que:

$$\begin{array}{l} \text{Costo promedio del} \\ \text{litro de agua} \end{array} = \text{N\$ } 0,01/\text{lt}$$

$$\begin{array}{l} \text{Costo por llenar 20} \\ \text{veces la atberca} \end{array} = (\text{N\$ } 0,01^{**}/\text{lt})(213,400 \text{ lt})(20)$$

$$\text{COSTO TOTAL POR} = \text{N\$ } 42,680^{**}$$

AGUA

RENDIMIENTO DEL PROYECTO.

Si comparamos el gasto anual de combustible y de energía eléctrica contra el del agua, esto es, lo que se gastaría con el Sistema de recirculación contra lo que se gastaría sin él, tenemos que:

$$\text{RENDIMIENTO DEL PROYECTO} = \frac{\text{N\$ } 42,680^{**}}{\text{N\$}(656,95 + 13,200)} = 3.080$$

Así, de esta manera, vemos que se puede ahorrar hasta tres veces en gastos por concepto de consumo de agua con la ayuda del Sistema de recirculación de agua mostrado en el Capítulo IV.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Tal y como se estableció en los objetivos, los conocimientos de Ingeniería Química fueron aplicados para el desarrollo del proyecto descrito en el Capítulo IV, y analizado económicamente en el Capítulo V, siendo entre los principales conocimientos aplicados, un balance de calor para un sistema que trabaja a régimen permanente, cálculo de caídas de presión y formas de transformación de energía por medio de ecuaciones de Bernoulli, Tratamiento de Aguas y conceptos básicos sobre Instrumentación y control.

Además de haber cubierto dicho objetivo, se puede garantizar que todo lo expuesto anteriormente representado mediante cálculos y dibujos, puede ser llevado a algo práctico, logrando con ello, llevar esta propuesta a algo real, ya que los resultados obtenidos son congruentes y razonables, inclusive pudiese servir como parámetro de comparación para otras posteriores propuestas.

Lo que sí es un hecho, es que la propuesta mostrada o cualquier otra, ayudará a alcanzar la meta fijada por la administración de la Hacienda "La Ventilla", que establece que se determinen formas para desperdiciar lo menos posible el agua suministrada, con el objeto de no agravar a la población de Atcholoya, Hidalgo, que sufre de problemas de abastecimiento del líquido vital, debido a la escasez y considerable costo monetario.

En cuanto a la factibilidad económica del proyecto, prácticamente sobran los números, pero para soportarlo, se muestra el Capítulo V como justificación de dicho proyecto, pues definitivamente, si la Hacienda puede hacer un desembolso de

N\$ 52,285** (Cincuenta y dos mil doscientos ochenta y cinco nuevos pesos 00/100 M.N.) que costaría la compra e instalación del sistema, para lograr un ahorro de hasta tres veces en gastos por concepto del pago de suministro de agua en un año, estamos hablando de un rendimiento muy alto que, definitivamente, representa una excelente inversión para cualquier persona.

PROPUUESTAS PARA MEJORAR EL PROYECTO

* En el isométrico (Figura 26) se puede observar que si se derivase un ramal en la línea de recirculación hacia el suavizador, se lograría un flujo "By-pass" de agua caliente sobre éste, lo cual tendría una doble función: realizar el retrolavado y convertir la suavización por precipitación en frío a precipitación en caliente, consiguiéndose así un pequeño ahorro de reactivo empleado.

* En cuanto a instrumentación y control se refiere, es factible la instalación de un Sistema Electrónico Digital, el cual es más barato por ser en conjunto, se maneja con mayor rapidez y se pueden controlar una mayor cantidad de variables en un espacio reducido; además, cuando el Sistema lo requiera, se puede cambiar la lógica de programación, que es un Software creado por los proveedores.

* Con el objeto de llevar a cabo un mantenimiento preventivo en todo el Sistema, se propone by-pasear todos los equipos de éste, para que con ello se puedan retirar periódicamente de servicio y someterlos a las respectivas pruebas.

APENDICES

APENDICE 1

GLOSARIO DE UNIDADES EMPLEADAS PARA EXPRESAR LAS CONCENTRACIONES DE LOS COMPONENTES PRESENTES EN EL AGUA

PARTES POR MILLON. La concentración de un determinado componente en las aguas, expresado en miligramos por litro. Una relación expresada en libras por millón de libras, gramos por millón de gramos, etc.

PARTES POR MILLON COMO CaCO_3 . Concentración convencional de los componentes en el agua cruda, expresado en miligramos del mismo componente por millón de gramos de CaCO_3 , cuyo Peso Molecular es de 100.

GRANO. Un grano es una medida inglesa equivalente aproximadamente a 4.87×10^{-3} gramos.

GRANO POR GALON. Concentración de un determinado componente en Sistema inglés, equivalente a 12.68 miligramos por litro.

APENDICE 2

APENDICE 2. Diámetros de filtración recomendados como función de flujos de filtración y retrolavado.

DIAMETRO DEL FILTRO PIES	SUPERFICIE TOTAL DE FILTRACION PIES ²	DURANTE FILTRACION GPM TOTALES PARA UN FLUJO DE (gpm/pie ²)			DURANTE RETROLAVADO GPM TOTALES PARA UN FLUJO DE (gpm/pie ²)		
		2	3	4.5	10	12	15
2'0"	3.14	6	9	14	31	38	45
2'6"	4.91	10	15	22	49	59	75
3'0"	7.07	14	21	32	71	85	105
3.6"	9.62	19	29	44	96	116	145
4'0"	12.6	25	38	57	126	150	190
4'6"	15.9	32	48	71	159	190	240
5'0"	19.6	40	59	88	196	235	295
5'6"	23.8	43	71	107	238	285	355
5'0"	28.3	57	85	127	283	340	425
6'6"	33.2	66	100	150	332	400	500
7'0"	38.5	77	115	173	385	460	575
7'6"	44.2	88	132	198	442	530	660
8'0"	50.3	100	150	226	503	600	750
8'6"	56.8	113	170	255	568	680	850
9'0"	63.6	127	190	285	636	760	950
9'6"	70.9	142	213	318	709	850	1065
10'0"	78.5	157	235	352	785	940	1175
11'0"	95	190	285	425	950	1140	1425

TOMADO DE: Ref. 8

APENDICE 3

APENDICE 3. Reactivos comúnmente empleados en la suavización en caliente.

PRODUCTO	FÓRMULA DEL INGREDIENTE ACTIVO	PESO MOLECULAR	SOLUBILIDAD APROXIMADA (% POR PESO A 68° F).	ESPECIFICACION APROXIMADA
Cal Química	CaO	56.1	0.2	Para suavización 90% CaO
Cal Hidratada	Ca (OH) ₂	74.1	0.2	Para suavización 93% Ca (OH) ₂
Cal Dolomítica	CaO	Variable	Variable	Para suavización y remoción de sílice 58% CaO. - 40% MgO.
Cal Dolomítica	Ca(OH) ₂	Variable	Variable	Para suavización y remoción de sílice 62% Ca (OH) ₂ 32% MgO.
Oxido de Magnesio	MgO	40.3	0.002	Para remoción de sílice 95% MgO
Carbonato de Sodio	Na ₂ CO ₃	106	21.5	Para suavización 98-99 % Na ₂ CO ₃ , 58% Ligeros.
Yeso	CaSO ₄	172	0.2	Para remoción de Alcalinidad 100% CaSO ₄ 2H ₂ O.
Polímero (Coagulantes de Ayuda)	Altos Pesos Moleculares	Variable	Variable	Para coagulación. Betz Polifloc 1130.

TOMADO DE: Ref 8

Su Problema	C A U S A S							
	Sobre Agotado	Flujo Operación Excesivo	Retrolavado Flujo Excesivo	Sal Impura	Sub Salado	Tierra, Algas Bacterias, Fierro precip. CaCO ₃	Aire en el Agua	Cana Soporte Revuelta
Pérdida de Resina			X				X	X
Pérdida de Capacidad	X	X		X	X	X		
Fuga de Dureza	X	X		X	X	X	X	X
Pérdida de Presión		X		X		X		
Cama Sucia				X		X		
Remedios	(1) (2)	(3)	(4)	(5)	(6) (7)	(8) (9) (10)	(11)	(12)

Clave :

- | | | |
|---|--|---|
| <p>(1) Regenerar Doblemente</p> <p>(2) Agotar a 95% capacidad</p> <p>(3) Ajustar flujo a cifra ofrecida.</p> <p>(4) Ajustar flujo a cifra correcta de acuerdo con tablas.</p> | <p>(5) Usar Sal con pocos insolubles y dureza.</p> <p>(6) Regenerar a 0.1337 lts por min. por lt.resina.</p> <p>(7) Corregir nivel de regeneración de acuerdo con tabla.</p> <p>(8) Filtrar mecánicamente para remover turbidez.</p> | <p>(9) Retrolavar más completamente.</p> <p>(10) Clorar para destruir bacterias y algas.</p> <p>(11) Checar posible entrada de aire por bomba, etc.</p> <p>(12) Sacar resina y grava para remole-dar.</p> |
|---|--|---|

TOMADA DE: Ref. 8

APENDICE 4

APENDICE 4. Problemas mas comunes que se presentan en las Resinas de Intercambio Iónico y formas de corregirlos.

APENDICE 5

APENDICE 5. Dimensiones de tuberías de acero normalizadas.

<i>Diámetro nominal (pulgadas)</i>	<i>Diámetro exterior (cm)</i>	<i>Diámetro interior (cm)</i>	<i>Espesor de pared (cm)</i>	<i>Número de catálogo</i>
1/8	1.029	0.683	0.173	40
1/8	1.029	0.546	0.241	80
1/4	1.372	0.925	0.224	40
1/4	1.372	0.767	0.302	80
3/8	1.715	1.252	0.231	40
3/8	1.715	1.074	0.320	80
1/2	2.134	1.580	0.277	40
1/2	2.134	1.387	0.373	80
3/4	2.667	2.093	0.287	40
3/4	2.667	1.885	0.391	80
1	3.340	2.664	0.338	40
1	3.340	2.431	0.455	80
1 1/4	4.216	3.505	0.356	40
1 1/4	4.216	3.246	0.485	80
1 1/2	4.826	4.089	0.368	40
1 1/2	4.826	3.810	0.508	80
2	6.033	5.250	0.391	40
2	6.033	4.925	0.554	80
2 1/2	7.303	6.271	0.516	40
2 1/2	7.303	5.900	0.701	80
3	8.890	7.793	0.549	40
3	8.890	7.366	0.762	80
3 1/2	10.16	9.012	0.574	40
3 1/2	10.16	8.545	0.808	80
4	11.43	10.226	0.602	40
4	11.43	9.718	0.856	80
5	14.13	12.819	0.655	40
5	14.13	12.225	0.953	80
6	16.83	15.405	0.711	40
6	16.83	14.633	1.097	80
8	21.91	20.272	0.818	40
8	21.91	19.368	1.270	80
10	27.31	25.451	0.927	40
10	27.31	24.287	1.509	80
12	32.39	30.323	1.031	40
12	32.39	28.890	1.748	80

Diámetro D		Curva 90° Radio largo	Curva 90° Radio medio	Curva 90° Radio corto	Curva 45° R/R = 1/2	Curva 30° R/R = 1/3	Curva 22.5° R/R = 1/4	Curva 15°	Entrada normal	Entrada de fondo	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	T _e para drenaje	T _e salida lateral	T _e salida oblicua	Válvula de J	Salida de tubería	Válvula de conexión tipo flange	Válvula de conexión tipo grifo
mm	pulg.																			
15	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.5	0.5	0.2	0.3	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	6.4	12.9
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

TOMADA DE: Ref. 5

APENDICE 8

APENDICE 8. Constantes para sustancias combustibles

No.	Substance	Formula	Molecu- lar Weight	Lb per Cu ft	Cu Ft per Lb	Sp Gr @ 1,000	Heat of Combustion				For 100% Total Air Moles per mole of Combustible						For 100% Total Air Lb per Lb of Combustible									
							Btu per Cu Ft (High)	Btu per Cu Ft (Low)	Btu per Gr (High)	Lb Net (Low)	Required O ₂	Cu Ft per Cu Ft of Combustible	Cu Ft per Cu Ft of Combustible	Flue Products	Required O ₂	Cu Ft per Cu Ft of Combustible	Cu Ft per Cu Ft of Combustible	Flue Products								
1	Carbon*	C	12.01	.....	.....	.....	.....	.....	.....	14.093	14.093	1.0	3.76	4.76	1.0	.....	3.76	2.66	8.36	11.52	3.66	.....	8.86
2	Hydrogen	H ₂	2.016	0.0053	187.723	0.0696	325	275	61.100	51.625	0.5	1.88	2.38	.....	1.0	1.88	7.94	26.41	34.34	.....	.....	8.94	26.41
3	Oxygen	O ₂	32.000	0.0846	11.819	1.1053	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	Nitrogen (atm)	N ₂	28.016	0.0744	13.443	0.9718	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	Carbon monoxide	CO	28.010	0.0740	13.506	0.9672	322	322	4,347	4,347	0.5	1.88	2.38	1.0	.....	1.88	6.57	1.90	2.47	1.57	.....	.....	1.90
6	Carbon dioxide	CO ₂	44.01	0.1170	8.548	1.5282	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Paraffin series																										
7	Methane	CH ₄	16.041	0.0424	23.565	0.5543	1013	913	23,879	21,520	2.0	7.53	9.53	1.0	2.0	7.53	3.99	13.28	17.27	2.74	2.25	.....	13.28		
8	Ethane	C ₂ H ₆	30.067	0.0803	12.455	1.0488	1792	1641	22,370	20,432	3.5	13.18	16.68	2.0	3.0	13.18	5.73	12.39	16.12	2.93	1.80	.....	12.39		
9	Propane	C ₃ H ₈	44.092	0.1196	8.365	1.5517	2590	2385	21,661	19,944	5.0	18.82	23.82	3.0	4.0	18.82	8.63	12.07	15.70	2.99	1.63	.....	12.07		
10	n-Butane	C ₄ H ₁₀	58.118	0.1582	6.321	2.0665	3370	3113	21,308	19,640	6.5	24.47	30.47	4.0	5.0	24.47	11.91	11.49	13.03	1.55	1.91	.....	11.91		
11	Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.118	0.1582	6.321	2.0665	3363	3105	21,257	19,629	6.5	24.47	30.47	4.0	5.0	24.47	11.91	11.91	13.49	3.03	1.55	.....	11.91		
12	n-Pentane	C ₅ H ₁₂	72.144	0.1904	5.252	2.4872	4016	3709	21,091	19,517	8.0	30.11	38.11	5.0	6.0	30.11	13.55	11.81	13.35	3.05	1.50	.....	11.81		
13	Isopentane	C ₅ H ₁₂	72.144	0.1904	5.252	2.4872	4008	3716	21,052	19,478	8.0	30.11	38.11	5.0	6.0	30.11	13.55	11.81	13.35	3.05	1.50	.....	11.81		
14	Hexapentane	C ₆ H ₁₄	72.144	0.1904	5.252	2.4872	3993	3693	20,970	19,396	8.0	30.11	38.11	5.0	6.0	30.11	13.55	11.81	13.35	3.05	1.50	.....	11.81		
15	n-Heptane	C ₇ H ₁₆	86.169	0.2274	4.398	2.9704	4762	4412	20,940	19,403	9.5	35.76	45.26	6.0	7.0	35.76	15.74	15.27	3.06	1.46	.....	11.74			
Olefin series																										
16	Ethylene	C ₂ H ₄	28.051	0.0746	13.412	0.9740	1614	1513	21,644	20,295	3.0	11.29	14.29	2.0	3.0	11.29	3.42	11.39	14.81	3.14	1.29	.....	11.39		
17	Propylene	C ₃ H ₆	42.077	0.1110	9.007	1.4904	2316	2186	21,041	19,691	4.5	16.94	21.44	3.0	4.0	16.94	3.42	11.39	14.81	3.14	1.29	.....	11.39		
18	n-Butene	C ₄ H ₈	56.102	0.1490	6.756	1.9336	3084	2885	20,840	19,496	6.0	22.59	28.59	4.0	5.0	22.59	3.42	11.39	14.81	3.14	1.29	.....	11.39		
19	Isobutene	C ₄ H ₈	56.102	0.1490	6.756	1.9336	3068	2869	20,730	19,382	6.0	22.59	28.59	4.0	5.0	22.59	3.42	11.39	14.81	3.14	1.29	.....	11.39		
20	n-Pentene	C ₅ H ₁₀	70.124	0.1852	5.490	2.4190	3836	3586	20,712	19,363	7.5	28.23	35.73	5.0	6.0	28.23	3.42	11.39	14.81	3.14	1.29	.....	11.39		
Aromatic series																										
21	Benzene	C ₆ H ₆	78.107	0.2060	4.852	2.4920	3751	3601	18,210	17,480	7.5	28.23	35.73	6.0	7.0	28.23	3.07	10.22	13.30	3.38	0.69	.....	10.22		
22	Toluene	C ₇ H ₈	92.132	0.2411	4.113	3.1760	4484	4284	18,440	17,620	9.0	33.88	42.88	7.0	8.0	33.88	3.13	10.40	13.51	3.34	0.78	.....	10.40		
23	Xylene	C ₈ H ₁₀	106.158	0.2803	3.567	3.6618	5230	4980	18,650	17,760	10.5	39.52	50.02	8.0	9.0	39.52	3.17	10.53	13.70	3.32	0.85	.....	10.53		
Miscellaneous gases																										
24	Acetylene	C ₂ H ₂	26.016	0.0697	14.344	0.9107	1499	1448	21,500	20,276	2.5	9.41	11.91	2.0	1.0	9.41	3.07	10.22	13.30	3.38	0.69	.....	10.22		
25	Naphthalene	C ₁₀ H ₈	128.162	0.3184	2.955	4.4208	5854	5654	17,208	16,708	10.0	45.17	57.17	10.0	4.0	45.17	3.00	9.97	12.94	3.43	0.56	.....	9.97		
26	Methyl alcohol	CH ₃ OH	32.041	0.0846	11.820	1.1052	848	768	10,259	9,078	1.5	5.65	7.15	1.0	2.0	5.65	1.50	4.48	6.48	1.37	1.13	.....	4.98		
27	Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.067	0.1216	8.221	1.5900	1600	1451	13,161	11,929	2.0	11.29	14.29	2.0	3.0	11.29	2.08	6.93	9.02	1.92	1.17	.....	6.93		
28	Ammonia	NH ₃	17.031	0.0456	21.914	0.5961	441	365	9,668	8,001	0.75	2.82	3.97	.....	1.5	3.92	1.41	4.69	6.10	.....	.....	1.59	5.51
SO ₂																										
29	Sulfur*	S	32.06	3.983	3.983	1.0	3.76	4.76	1.0	3.76	1.00	2.00	3.29		
30	Hydrogen sulfide	H ₂ S	34.076	0.0911	10.979	1.1898	647	596	7,100	6,545	1.5	5.65	7.15	1.0	1.0	5.65	1.41	4.69	6.10	1.88	0.53	.....	4.69		
31	Sulfur dioxide	SO ₂	64.06	0.1733	5.770	2.2640		
32	Water vapor	H ₂ O	18.016	0.0476	21.017	0.6215		
33	Air	28.9	0.0746	13.663	1.0000		

*Carbon and sulfur are considered as gases for molar calculations only.

Note: This table is reprinted from Fuel Flue Gases, 1941 Edition, courtesy of American Gas Association.

All gas volumes corrected to 60 F and 30 in. Hg dry.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- *Balcock & Wilcox.*
"Steam, its, generation and use"
Balcock & Wilcox Co.
New York, 1979.
- 2.- *Kern, Donald Q.*
"Procesos de Transferencia de calor"
C. E. C. S. A. (21a. impresión).
México, 1989.
- 3.- *Miller & Mc. Donell*
"Controles para calderas e interruptores de flujo".
Cortesía de Honeywell de México, S. A. de C. U.
México, 1993.
- 4.- *Valiente B., Antonio.*
"Problemas de flujos de fluidos".
Alhambra - Universidad.
México, 1986.
- 5.- *Valiente B., Antonio y Primo S., Rudi.*
"Problemas de balance de energía".
Alhambra - Universidad.
México, 1986.
- 6.- *Vázquez Ortega, Alfonso.*
"Compendio sobre generadores de vapor".
Secretaría del Trabajo y Previsión Social. México.

7.- Weber, Walter J.

"Control de calidad del agua; procesos físicoquímicos".

Reverté.

Barcelona, España, 1979.

8.- Facultad de Química, U. N. A. M.

Seminario sobre Tratamiento de Aguas.

México, 1991.

9.- Room & Haas de México, S. A. de C. V.

Seminario para Resinas de Intercambio Iónico.

México, 1987.

10.- Reséndiz Torres B. E. y Carmona Picazo, Fernando.

"Integración de los factores climáticos y edafológicos de la zona de Alcholya, Hidalgo, como un recurso para el mejor aprovechamiento de los suelos".

Tesis Profesional U. N. A. M.

México, 1982.

11.- Lugo Flores, Carlos Emiliano.

"Costos de Tratamiento de Aguas".

Tesis Profesional, U. N. A. M.

México, 1971.