



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

Estudio de la Planta de Tratamiento de Agua
para un Sistema Generador Solar.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Mecánico Electricista
P R E S E N T A :
PLUTARCO ERISTEO CRUZ PEREZ

Director de Seminario: Dr. José Luis Fernández Z.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

I N D I C E

| | Pag |
|---|-----|
| INTRODUCCION | 1 |
| 1. SISTEMA GENERADOR SOLAR | 4 |
| 1.1 Subsistema solar | 4 |
| 1.2 Subsistema termodinámico | 7 |
| 1.3 Subsistema mecánico | 15 |
| 1.4 Subsistema eléctrico | 15 |
| 1.5 Subsistema de control | 15 |
| 2. TRATAMIENTO DE AGUA | 16 |
| 2.1 Objetivos | 16 |
| 2.2 Constituyentes principales del agua | 16 |
| 2.3 Clasificación de las impurezas en el agua y métodos para eliminarlas | 17 |
| 3. CALIDAD DEL AGUA PARA EL SISTEMA GENERADOR SOLAR | 41 |
| 3.1 Normas | 41 |
| 3.2 Determinación de PH | 42 |
| 3.3 Determinación de la dureza total | 44 |
| 3.4 Determinación de sólidos totales | 46 |
| 3.5 Determinación de sólidos volátiles y fijos | 48 |
| 3.6 Determinación del oxígeno disuelto en el agua | 50 |
| 3.7 Determinación del bióxido de carbono libre en el agua | 53 |
| 3.8 Resumen | 56 |

| | Pag |
|---|-----|
| 4. ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA GENERADOR SOLAR | 58 |
| 4.1 Alternativa uno: Destilación | 59 |
| 4.2 Alternativa dos: Suavizador | 66 |
| 4.3 Alternativa tres: Ablandamiento | 70 |
| 4.4 Alternativa cuatro: Desmineralización | 85 |
| 5. ANALISIS DE SENSIBILIDAD ECONOMICA | 92 |
| 5.1 Consideraciones | 92 |
| 5.2 Análisis de sensibilidad de las alternativas establecidas | 94 |
| 5.3 Elección de la mejor alternativa | 113 |
| 6. CONCLUSIONES | 114 |
| 6.1 La opción uno: Destilación | 114 |
| 6.2 La opción dos: Suavizador | 115 |
| 6.3 La opción tres: Ablandamiento | 115 |
| 6.4 La opción cuatro: Desmineralización | 115 |
| APENDICE: METODOLOGIA DEL ANALISIS DE SENSIBILIDADES ECONOMICAS | 117 |
| BIBLIOGRAFIA | 121 |

INTRODUCCION

El Instituto de Ingeniería de la UNAM trabaja actualmente en la instalación y puesta en marcha de un sistema generador solar, razón por la cual el presente trabajo estudia los problemas característicos del tratamiento del agua a usarse en el sistema generador solar y establece el diseño - así como la selección del sistema de tratamiento de agua más adecuado para la operación del sistema generador solar.

El trabajo comienza presentando los cinco subsistemas elementales que tiene el sistema generador solar. Allí se establecen los procesos que dan lugar a la conversión de energía y los equipos principales que los constituyen.

El estudio de los problemas ocasionados por no tratar el agua aparecen en el segundo capítulo. En él se intenta, de una manera muy elemental, definir las causas de corrosión, incrustación y formación de espuma principalmente, así como un método de prevención de dichos problemas. También se plantean los procesos más comunes de tratamiento de agua para diferentes usos comerciales e industriales.

En el tercer capítulo se presenta una secuencia de desarrollo, así como el equipo utilizado para realizar las diferentes pruebas de laboratorio, que para efecto de análisis se le hicieron al afluente que suministrará agua a la planta generadora solar. Este análisis provee información sobre las propiedades del agua a tratar para poder seleccionar el método que más convenga.

El cuarto capítulo se ocupa de definir las opciones en el diseño del proyecto y de establecer las partes principales del equipo que integra cada opción. Las opciones que se analizan tienen la particularidad de que, a diferencia de las que se manejan en otras condiciones, en este caso solamente se necesita eliminar la dureza del agua. También se establece un procedimiento elemental para el diseño del equipo de cada opción.

El análisis de sensibilidad (económica) de las cuatro opciones seleccionadas aparece en el capítulo cinco. Aquí se presentan los plazos, tasas de interés, costos de operación, inversión inicial y amortizaciones anuales de cada una de las opciones de tratamiento de agua. También se presentan, para los casos en que así se estime necesario, las consideraciones que se

tomaron para establecer la evaluación económica de cada opción. Al final se tiene una elección de la mejor alternativa como base en el resumen de resultados mostrado en un inciso anterior.

Las conclusiones se presentan en el sexto capítulo. Estas se hacen a partir de los resultados del análisis de sensibilidad y conocimiento adquiridos en el proceso de elaboración del estudio.

I. SISTEMA GENERADOR SOLAR

El sistema generador solar consta de un ciclo binario aceite-agua cuya función es convertir la energía solar radiante en energía eléctrica mediante un proceso termodinámico. El sistema generador solar se compone de cinco subsistemas principales:

1.1 Subsistema solar

Comprende esencialmente los módulos de colectores solares incluyendo estructuras, concentradores, absorbedores, seguidores, superficies reflejantes y superficies selectivas.

El diseño del sistema generador solar requiere de 16 módulos de colectores concentradores lineales, provistos de espejos cilíndrico-parabólicos,

con una longitud de 15 m cada uno y una apertura focal de 2.5 m (fig. 1.1)

Para aprovechar mejor la energía solar es necesario tener grandes superficies reflejantes con alta calidad óptica y mecánica, por lo cual se hicieron pruebas con tres superficies reflejantes diferentes {1}*

1. Acrílico aluminizado
2. FEK - 244
3. Aluminio electropulido

De estas pruebas se concluyó que la mejor superficie es FEK - 244 {1}.

Puesto que el FEK - 244 es un material de costo elevado, se usó solamente en la fabricación de ocho colectores. Los otros ocho se hicieron de acrílico aluminizado. Estos colectores (FEK 244 y acrílico aluminizado) han estado operando a la intemperie por un lapso de más de un año, demostrándose la superioridad en calidad de los primeros.

Como se sabe, un concentrador cilíndrico-parabólico enfoca sobre una recta, formando un volumen focal de forma elipsoidal cuyo eje es la misma recta, siendo esto posible si la concentración es perfecta. Basándose en éstas consideraciones, se hizo una estructura de forma cilíndrico-parabólica en la cual deberán apoyarse los espejos; a esta estructura se le conoce como "concha"

* los números en paréntesis corresponden a la lista de referencias bibliográficas al final de este escrito.

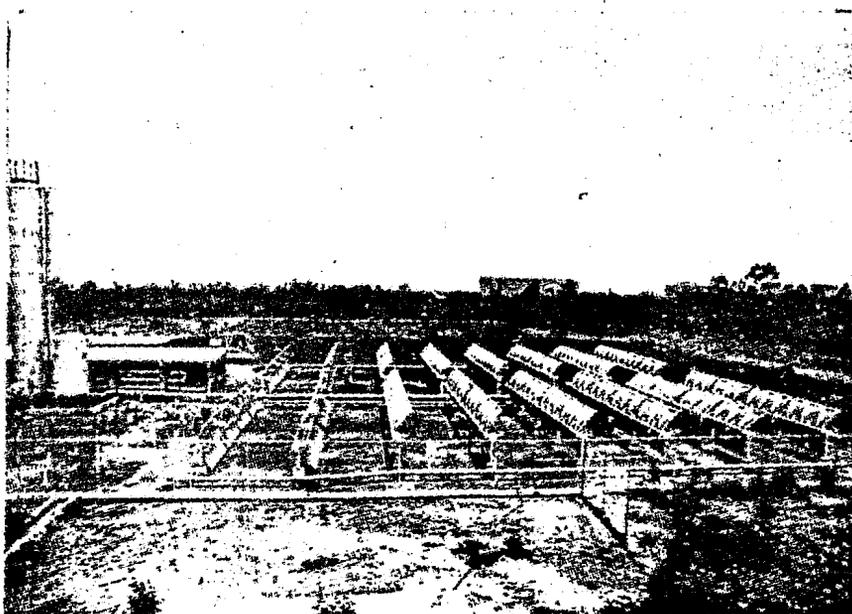


Fig 1.1 Módulos de los colectores solares de enfoque lineal

La fabricación de una concha se lleva a cabo sobre moldes machos parabólicos de 1:15 m de ancho y 2.5 m de apertura de la parábola y contra molde para la estructura de refuerzo de dichas conchas, como se muestra en las figs. 1.2, 1.3 y 1.4, {2},{3},

Las estructuras fueron diseñadas para contener 12 espejos cilíndrico-parabólicos en cada módulo; éstas pueden girar 360° y son fáciles de montar en cualquier terreno plano. Estas estructuras son metálicas y cuentan con un dispositivo para soportar el tubo absorbedor y con un mecanismo seguidor para asegurar su orientación permanente hacia el sol. Su cimentación correspondiente, para todo el sistema, es de 80 bases de concreto cuya disposición y dimensión se muestra en la fig.1.5. Cada base tiene cuatro anclas de varilla corrugada de 1 1/4" con extremos salientes roscados (fig. 1.6) {3}.

A través del eje focal de la parábola pasa el tubo absorbedor que conduce el fluido del ciclo primario (aceite) para elevar su temperatura. Los tubos absorbedores tienen una envolvente de vidrio diseñada especialmente para reducir las pérdidas de calor por convección al medio ambiente, como se puede ver en la fig. 1.7, {3}.

1.2 Subsistema termodinámico

Está integrado por cuatro ciclos térmicos, El primero de estos ciclos es el de calentamiento principal, constituido por el campo de colectores lineales y una caldera auxiliar de gas; esta puede operar en serie, en

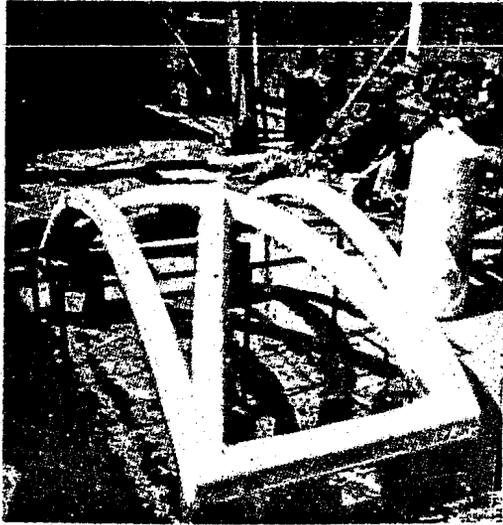


Fig. 1.2 Contramolde empleado para fabricar la estructura de refuerzo de una concha.

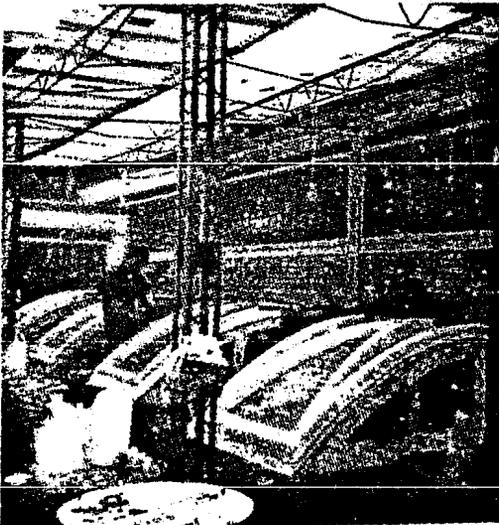


Fig. 1.3 Proceso de fabricación de las conchas de fibra de vidrio

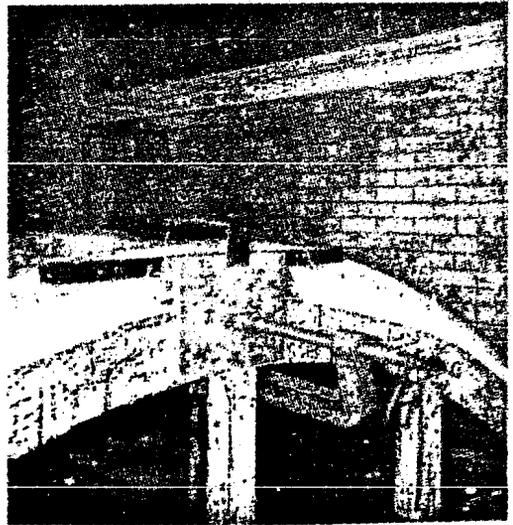
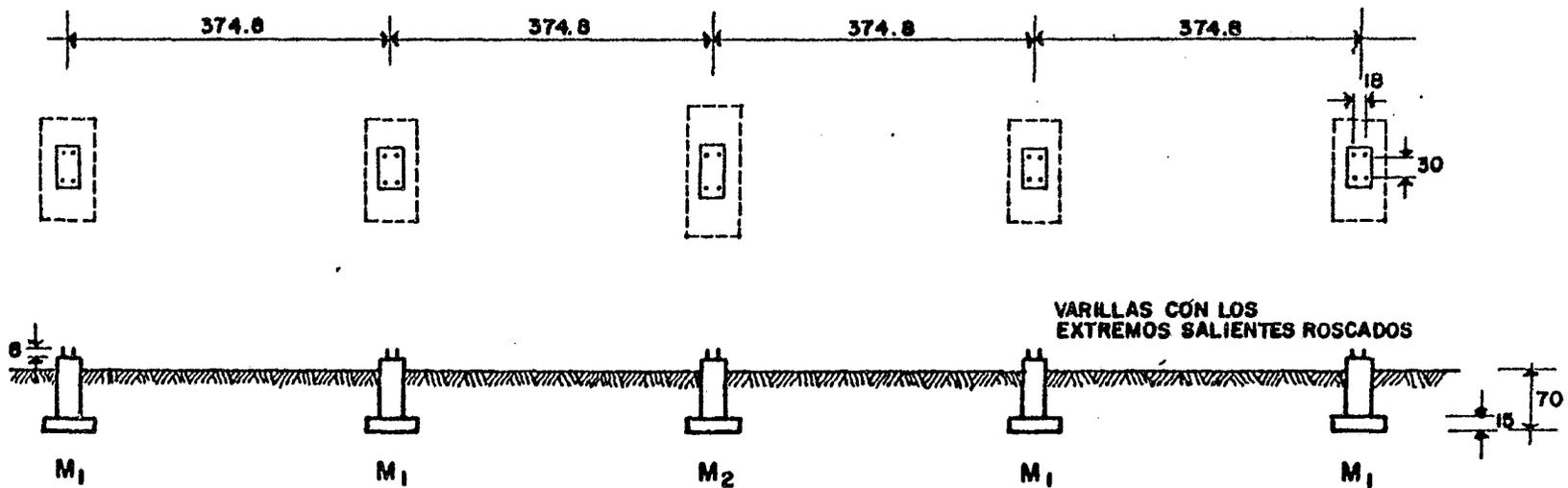


Fig. 1.4 Colocación de los tubos de soporte en una concha



Acoleciones en cm.

Fig. 1.5 Bases de concreto para soportar los módulos de espejos.

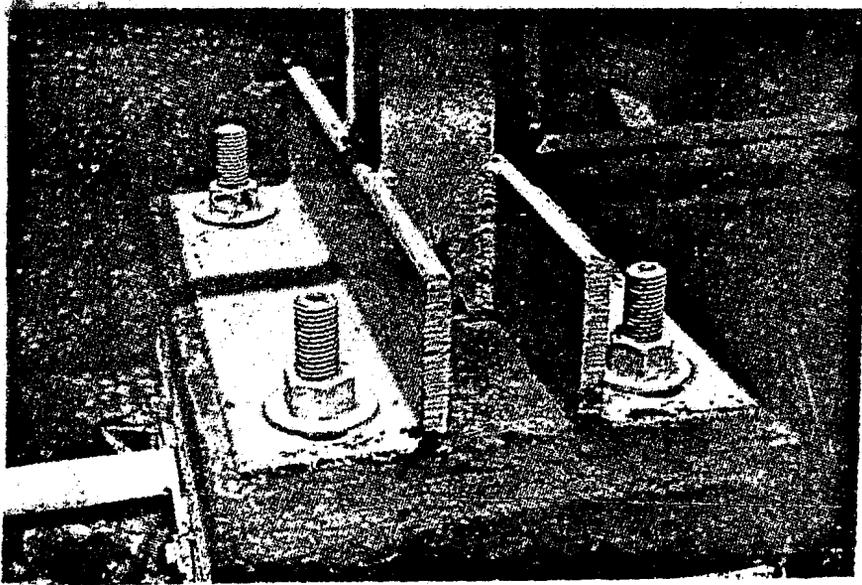


Fig. 1.6 Anclaje de pernos roscados para soportar los nodulos de los colectores solares.

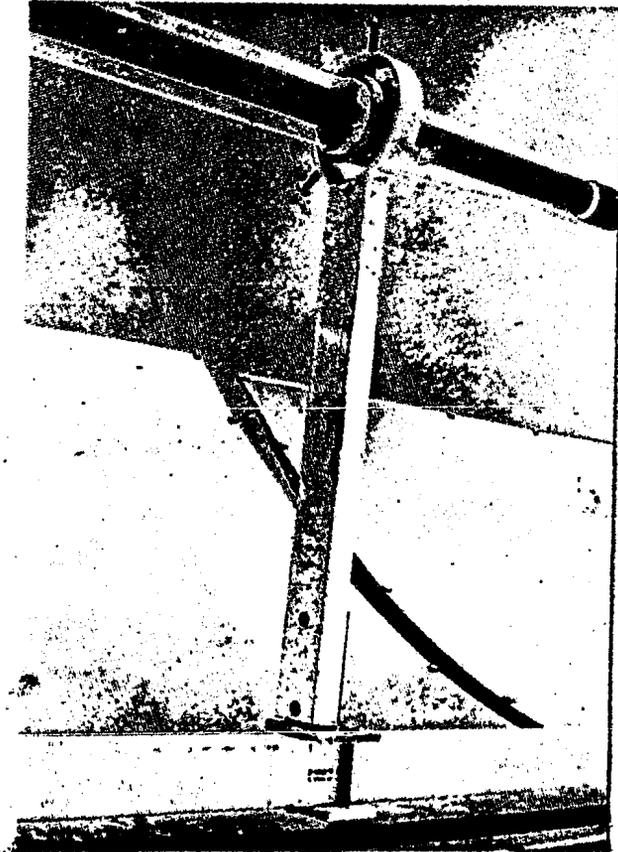
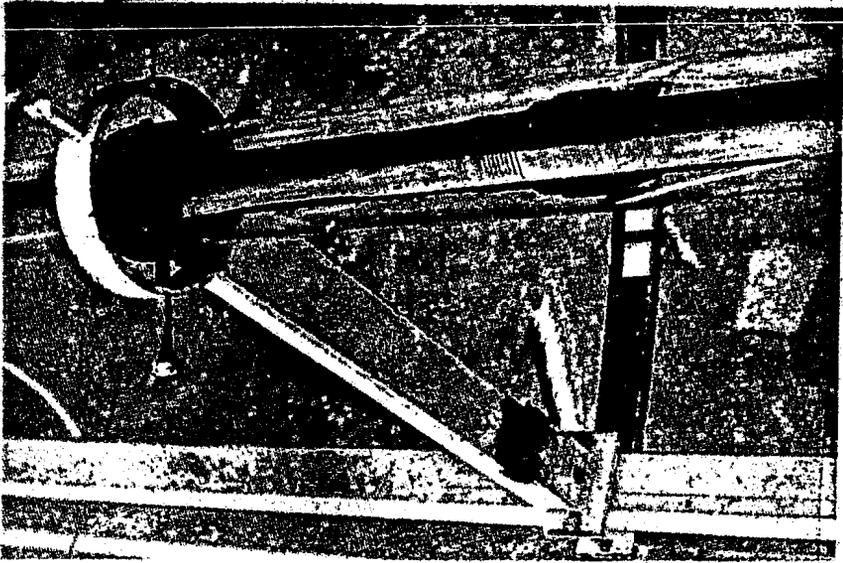


Fig. 1.7. Detalle de la envoltura de vidrio de los tubos absorbedores

paralelo o independientemente del campo de colectores. La caldera consta de un sistema de combustión de gas LP y de aire forzado, con una capacidad de 220 KWT {4}. Este primer ciclo se sierra en el tanque térmico y, como se puede observar en la fig. 1.8, sus equipos fundamentales son: la bomba de circulación, (K), el campo de colectores (H), la caldera de gas (A), el tanque de gas LP (I) y el tanque térmico de almacenamiento (C). El subsistema también comprende una serie de válvulas y bombas que se pueden localizar en la misma figura.

El segundo ciclo se le llama de enfriamiento de aceite, y lo forman el tanque térmico de almacenamiento (C) acoplado a un tanque expansor (D) y a un compensador de presiones (L); estos tres equipos tienen por objeto amortiguar las perturbaciones inherentes de la radiación solar, transformando las características variables de la energía solar y estableciendo un flujo de energía constante para suministrarla al evaporador. El tanque de almacenamiento térmico opera a presiones variables siendo ésta alta en su sección inferior y baja en su sección superior, por lo que la placa de acero de que se forma es de espesor variable. La esbeltez del tanque y la configuración de los circuitos primario y secundario propician una estratificación del aceite (ESSO Therm GL 450) necesaria para tener aceite con alto nivel de energía para alimentar el evaporador. Otros componentes del segundo ciclo son la bomba de recirculación del aceite caliente (N) y el evaporador de agua o generador de vapor marcado con la letra D, cuyo propósito es transferir la energía que tiene el aceite al agua para evaporarla. El evaporador consiste en un haz de tubos de cobre en forma de U, fácilmente removibles para dar mantenimiento,

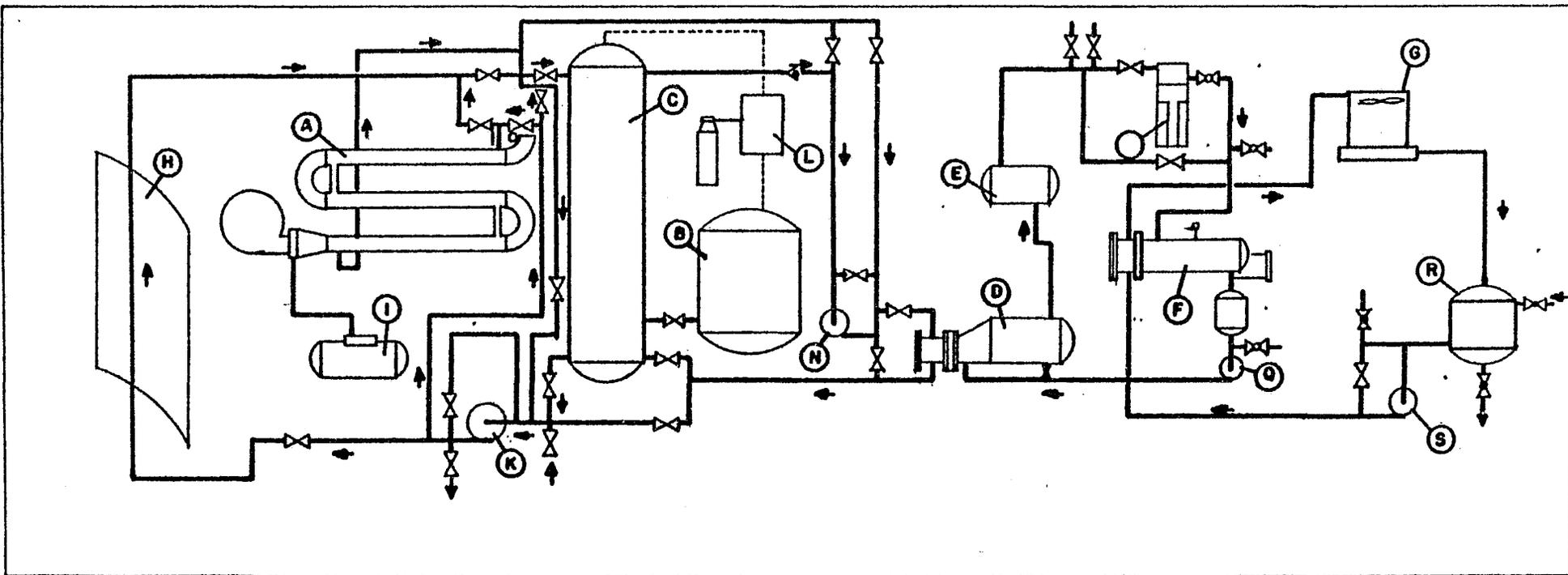


Fig. 1.8 Diagrama del sistema termodinámico

colocados en una coraza de tipo TEMA-KT como se muestra en la fig. 1.8 {4} y {5}.

El tercer ciclo térmico está constituido por un tanque de eliminación de neblina (E). Este elemento está conectado a la salida del evaporador y consiste de un tanque en cuyo interior hay varias rejillas de acero inoxidable con el fin de atrapar las gotas de agua arrastradas por el vapor de agua.

El agua escurre de regreso al evaporador. En la parte superior del tanque se obtiene vapor saturado seco que pasa al expansor donde se genera energía mecánica (O). Esta energía que se obtiene se usa para accionar un generador eléctrico. El vapor, una vez expandido pasa a un condensador (F) donde se condensa el vapor y se extraen los gases no condensables que son sumamente corrosivos. El agua se impulsa por la bomba (Q) hacia el evaporador, iniciándose otro ciclo más.

El cuarto y último ciclo tiene por objeto abatir la temperatura del agua de enfriamiento requerida para la operación del condensador. Está constituido por la torre de enfriamiento húmeda (G), de tiro inducido, y por la cisterna de agua de enfriamiento (R) con su respectiva bomba de circulación de agua (S), {4} y {5}.

1.3 Subsistema mecánico

En un principio se proyectó el desarrollo de un expansor térmico de cuatro rotores con ejes de rotación paralelos con movimiento sincrónico. Actualmente está constituido por un motor de vapor Gardner (de un pistón accionado por la expansión del vapor sobrecalentado) acoplado a un generador eléctrico de 15 Kw de potencia.

1.4 Subsistema eléctrico

Engloba diferentes equipos como el generador, interruptores, tableros, controles, protecciones y el sistema de aprovechamiento de la energía eléctrica disponible.

1.5 Subsistema de control

Su objetivo es el control automático de la operación del sistema generador solar. El centro de este subsistema será una micro-computadora, que recibirá información del estado del sistema, por medio de sensores colocados en puntos críticos, procesará dicha información y en forma automática mandará ordenes de operación a los diferentes actuadores (válvulas, bombas, y otros). También se tendrá un control automático por medio de micro-procesadores del seguidor de los concentradores para mantener una orientación permanente al sol.

II. TRATAMIENTOS DE AGUA

2.1 Objetivo.

El objetivo de tratar el agua de alimentación de generadores de vapor es para evitar problemas que lleguen a dañar los equipos al grado que sea necesario hacer reparaciones costosas que ocasionen el paro de la unidad.

2.2 Constituyentes principales del agua.

El agua es una de las sustancias naturales más abundante; en estado puro no contiene calor, olor ni sabor. Sin embargo toda agua contiene sólidos disueltos, así como sólidos en suspensión (materia orgánica, arenas, coloides, etc.) en proporciones menores o igual a 0,1%. Su contenido iónico consiste en:

| CATIONES | | ANIONES | |
|------------------|-----------|--------------------|-------------|
| Na^+ | Sodio | Cl^- | Cloro |
| Mg^{+2} | Magnesio | NO_3^- | Nitratos |
| Ca^{+2} | Calcio | NO_2^- | Nitritos |
| K^+ | Potasio | SO_4^{2-} | Sulfatos |
| Sr^{+2} | Estroncio | HCO_3^- | Bicarbonato |
| SiO_2 | Sílice | Br^- | Bromuro |
| | | I^- | Iodo |
| | | CO_3^{2-} | Carbonato |
| | | PO_4^{3-} | Fosfatos |
| | | OH^- | Oxhidrilo |

2.3 Clasificación de las impurezas en el agua y métodos para eliminarlas

Dependiendo de su concentración en los compuestos, algunos de estos iones pueden ocasionar graves problemas, de manera que estas sustancias se pueden clasificar de acuerdo al tipo de problemas que ocasionan.

- Sustancias productoras de espuma
- Sustancias formadoras de incrustaciones
- Sustancias corrosivas

Estas sustancias se discuten a continuación:

2.3.1 Sustancias formadoras de espuma

Estas sustancias pueden ser orgánicas o inorgánicas y se encuentran en suspensión en el agua condensada del proceso de calentamiento. El aceite y los productos de descomposición orgánica son las causas principales de espumamiento; es por eso que estas sustancias deberán ser removidas en el condensador.

Los efectos de espumamiento de estos materiales son críticos en presencia de una alcalinidad alta. Por esta razón es necesario limitar las concentraciones de álcali del agua de alimentación de generadores de vapor.

La eliminación de estas sustancias se efectúa por clarificación (filtración o sedimentación) antes o después del tratamiento de ablandamiento dependiendo del tipo de dureza que el agua contenga. Generalmente para separarlas se usan filtros por gravedad con capas de arena como material filtrante.

Para mejorar el proceso de filtración se le añade al agua sustancias coagulantes como el sulfato de aluminio $(SO_4)_2 AL_2$. Estas sales, al hidrolizarse, proporcionan los oxhidrilos que forman flóculos que retienen parte de las impurezas en suspensión en el agua los cuales son fácilmente filtrables.

Las cantidades de sulfato de aluminio a incorporar al agua se calculan por la existencia de bicarbonato calcico $(CO_3H)_2 Ca$, [6]. Para eliminar en

un grado la dureza debida al bicarbonato se le hace reaccionar con 400 mg de $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ comercial (de 12 a 14% de Al_2O_3). La dosis debe ser tal que elimine la dureza de bicarbonatos. Generalmente, con 20 - 30 gr/m³ es suficiente para tener una buena formación de flóculos.

2.3.2 Sustancias formadoras de incrustaciones

Las incrustaciones se forman porque la solubilidad de las sales que la producen disminuyen con el aumento de temperaturas, de manera que a mayor temperatura las sales se hacen más insolubles.

Las incrustaciones son producidas en la mayoría de los casos por la presencia en el agua de CaCO_3 , SO_4Ca , MgCO_3 , CaSiO_3 . Estas sales constituyen la dureza del agua, por lo cual al evaporar agua dura en una caldera se producen incrustaciones y estas a su vez originan una baja capacidad de conductividad térmica, disminuyendo la transferencia de calor y produciendo recalentamiento en las tuberías de transmisión y, en casos extremos, perforación de los tubos.

El problema de las incrustaciones es afectado por varias condiciones de operación de los generadores de vapor, como son:

- i. Presión de operación del generador de vapor
- ii. Relación de agua de repuesto a agua de retorno de condensados
- iii. Programa de operación del generador de vapor
- iv. Fugas de condensado

Para evitar las incrustaciones generalmente se usan dos procesos que son:

2.3.2.1 Tratamiento externo

Consiste en la eliminación o reducción de Ca, Mg y SiO₂ principalmente, antes de que el agua sea alimentada al generador de vapor.

2.3.2.2 Tratamiento interno

Consiste en añadir sustancias químicas al agua de alimentación para hacer que los compuestos originados por el efecto del calor al evaporarse el agua en los generadores de vapor formen un lodo que pueda escurrir hacia las purgas y no se fije a la superficie metálica interna del generador de vapor.

Los principales productos químicos utilizados en este tratamiento para el control de incrustaciones son: fosfatos, taminas o derivados de la lignina, carbonato de sodio y sosa cáustica {8}.

Puesto que las incrustaciones son la causa más común de problemas en los generadores de vapor, se tiene la necesidad de un proceso de ablandamiento para eliminar del agua las componentes salinas. Los métodos más comunes son {7}.

A) METODOS FISICOS

B) METODOS FISICO-QUIMICOS

C) METODOS QUIMICOS

A) Métodos físicos (destilación)

Estos métodos son procesos de destilación y se usan cuando la cantidad de agua a tratar es poca. La ventaja de la destilación es que se obtiene un agua desprovista de sales disueltas o con índices muy pequeños. Sin embargo como se puede ver en el capítulo IV, el proceso no es económico.

B) Métodos físico-químicos (intercambio iónico)

Estos métodos utilizan zeolitas (aluminosilicatos de sodio), como la natrolita y analina, las cuales intercambian sus iones alcalinos por los iones cálcicos y magnésicos existentes en el agua, perdiendo ésta su dureza casi totalmente, saliendo del tratamiento prácticamente sin iones calcio pero con más iones sodio. Estos iones son un problema, ya que el bicarbonato de sodio (NaHCO_3), formado por intercambio, pasa en el evaporador y forma carbonato de sodio (Na_2CO_3), que, por hidrólisis, liberan oxhidrilos (iones OH^-) que producen corrosión cáustica en los generadores de vapor (corrosión intercrystalina).

Para evitar la corrosión se añade al agua ácido sulfúrico o fosfórico, con lo que se forman sales sódicas (inhibidoras) a consecuencia del carbonato y el bicarbonato [7].

En la actualidad se utilizan en lugar de las zeolitas, resinas sintéticas que poseen las mismas propiedades pero tienen un costo menor,

C) Métodos químicos

Se caracterizan por quitar la dureza por precipitación de los iones de calcio y magnesio. Los métodos más comunes para el ablandamiento de agua por vías químicas son:

C.1 Método de la cal-carbonato de sodio

C.2 Método de la sosa cáustica

C.3 Método del carbonato de sodio

C.4 Método del carbonato bórico

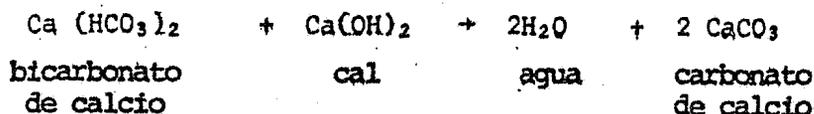
C.5 Método del fosfato sódico

C.1 Método de la cal-carbonato de sodio (cal-soda)

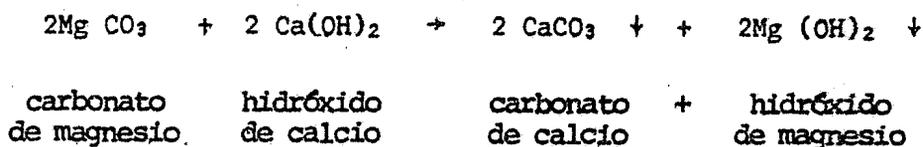
Utiliza como reactivo cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y como disolvente el Na_2CO_3 . Es el método más fácil de adaptar a todos los tipos de agua y por lo tanto el más utilizado.

La dureza temporal es eliminada por las reacciones siguientes;

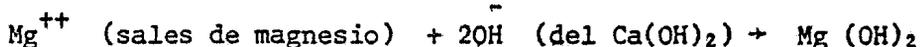
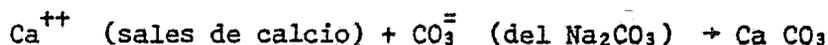
El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ proporciona OH^- para precipitar el Ca^{++} procedente de la $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ como carbonato cálcico.



Por un proceso semejante se forma MgCO_3 del bicarbonato magnésico con la reacción



La dureza permanente desaparece por las reacciones siguientes.



Los aniones correspondientes a las sales de Ca^{++} y Mg^{++} (Cl^- y SO_4^{--} principalmente) permanecen en disolución, y junto con las Na^+ del carbonato sódico. Por lo tanto persiste el mismo contenido en materias disueltas, pero han sido sustituidos los iones Mg^{++} y Ca^{++} por iones Na^{++} , con lo que la formación de incrustaciones no es posible.

Para acelerar las reacciones, mejorar la aglomeración de los precipitados y tener una separación mas rápida por decantación, se debe calentar el agua. Si la temperatura del agua alcanza 80 a 100°C, se obtendrá agua con 0.3 a 1 grado de dureza (7).

La fig. 2.1 presenta un diagrama de un sistema de operación continua.

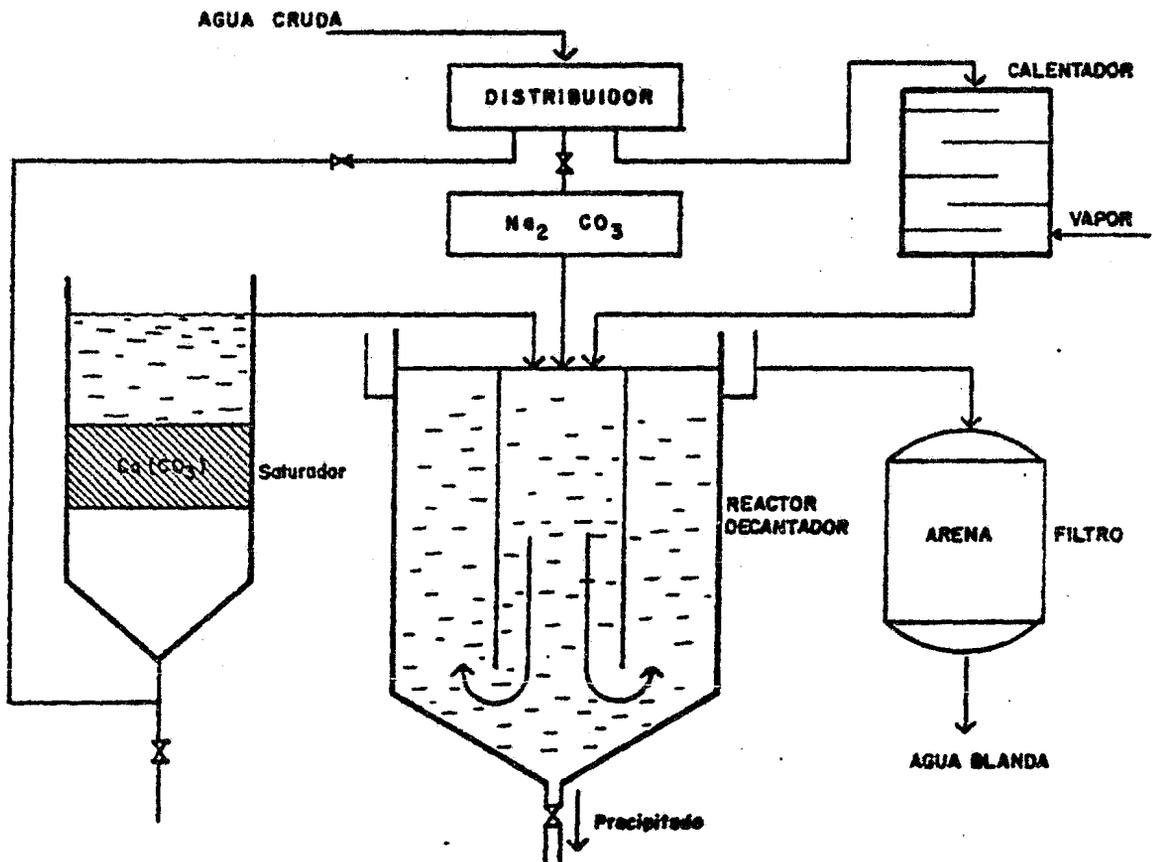
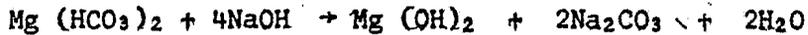


Fig. 2.1 Diagrama de un proceso cal-carbonato de sodio de operación continua

C.2 Método de la sosa cáustica (Na OH)

Solo es aplicable a agua cuya dureza es ocasionada por bicarbonatos y cuan

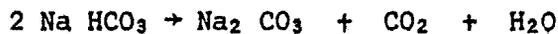
do contiene poco CO_2 . Las reacciones son:



Se ve que se forma CO_3^{--} y Na^+ . Por lo tanto las reacciones de la dureza permanente son las mismas que el método cal-soda.

C.3 Método del carbonato de sodio (Na_2CO_3)

Se aplica a aguas cuya dureza no es producida por bicarbonato y además que sea pobre en sales magnésicas. Los bicarbonatos de Ca^{++} y Mg^{++} pasan a bicarbonatos de sodio y a carbonatos de calcio (CaCO_3) debido a la descomposición que sufren en el generador de vapor.



A su vez el Na_2CO_3 se descompone en función de la temperatura y la presión en:

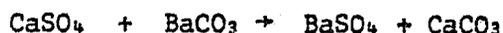


Como se observa el producto es un gas corrosivo y además la alcalinidad producida por la ionización del NaOH motiva la precipitación del Mg^{++} en forma de hidróxido tomando incrustaciones. Esta precipitación aumenta al

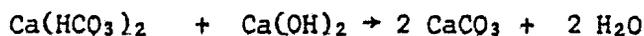
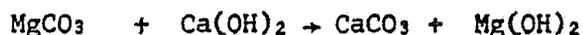
incrementarse la temperatura y presión de operación del generador de vapor aumentando por lo tanto la descomposición del Na_2CO_3 , resultando un aumento de la concentración de iones OH^- (de la sosa caústica),

C.4 Método del carbonato bórico

Este método generalmente se usa para tratar aguas selenitosas. De este se obtiene agua blanda y desprovista de sales. El inconveniente es el alto costo del reactivo (BaCO_3)



Si el agua contiene bicarbonato y sales magnésicas, se le debe agregar Ca(OH)_2 , ya que el bicarbonato bórico y el bicarbonato de magnesio son solubles. Esto da lugar a las reacciones siguientes:



C.5 Método del fosfato trisódico (Método de Budenheim)

Este método aprovecha las propiedades que caracterizan a algunos compuestos, por lo que el agua se calienta previamente con vapor para elevar su temperatura y con ello cambiar los bicarbonatos a carbonatos y los gases

liberados como el CO_2 , son eliminados por aereación. Con este método se puede obtener agua con dureza casi nula. Para ver las características específicas de este método consultar [7].

2.3.3 Sustancias corrosivas

La definición de corrosión más conocida es la de Reichenschuss für Metall schütz; "La corrosión es la destrucción de un cuerpo sólido causada por un ataque no provocado, de naturaleza química o electroquímica que se inicia en la superficie".

La corrosión es producida por:

1. La acidez relativa del agua
2. La presencia de oxígeno (O_2), bióxido de carbono (CO_2), amoniaco - (NH_3) y otros gases disueltos en el agua.

La corrosión se puede evitar de tres maneras:

1. Remoción de gases disueltos en el agua
2. Neutralización de las trazas de oxígeno remanentes
3. Neutralización de la acidez del agua con un álcali

Las alternativas dadas antes no se podrán tratar independientemente ya que cada una es dependiente de las otras.

La acidez del agua se mide en función de la concentración de los iones de hidrógeno, y se le conoce como PH.

$$PH = \text{Log} \frac{1}{H^+} = \text{Log} (H^{-1})$$

Si al agua se le agrega un ácido o un compuesto salino que contenga hidrógeno ionizable la concentración de iones hidrógeno aumentará y el PH disminuirá. Si en lugar de ácido se le añade una base que contenga iones oxhidrilo (OH^-), el contenido de los iones hidrógeno se disminuirá y consecuentemente el PH aumentará.

De los gases corrosivos mencionados, el oxígeno es el que mayor corrosión ocasiona cuando se encuentra disuelto en el agua aun cuando el nivel de concentración del oxígeno sea muy bajo. El ataque corrosivo del oxígeno depende principalmente de su concentración, del valor del PH y de la temperatura.

La influencia de la temperatura en el oxígeno disuelto en el agua de alimentación de generadores de vapor, es muy importante debido a que al incrementarse la temperatura, acelera la reacción del oxígeno disuelto, provocando graves problemas de corrosión.

Uno de los problemas más frecuentes de la corrosión por el oxígeno es la que ocurre en forma de picaduras. La picadura es una forma de ataque extremadamente localizada que perfora el metal. En general, el diámetro final de la picadura es igual a la profundidad de la misma. El proceso de

picadura es además autocatalítico, ya que una vez formada una picadura, se generan condiciones para el avance acelerado de la reacción anódica de la disolución metálica {9}.

La solubilidad de un gas en un líquido es expresada por la ley de Henry, la cual establece que el equilibrio de concentración de un gas disuelto en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas contenido en el líquido, {10}

$$C = KP$$

donde: C = concentración de gas disuelto en el líquido

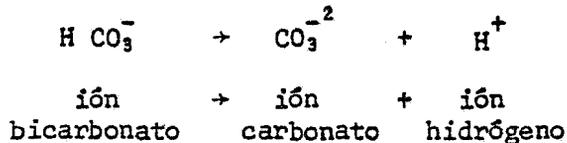
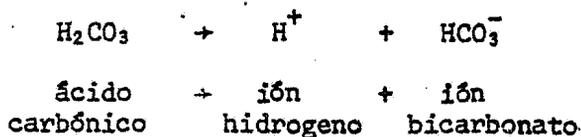
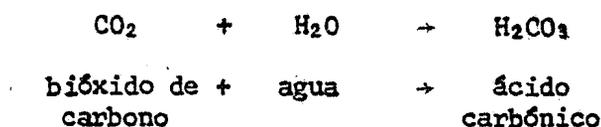
K = constante característica de solubilidad del sistema

P = presión parcial del gas

BETZ {10} con base en su experiencia, dice que la solubilidad del oxígeno no disuelto en el agua es elevada cuando éste tiene una presión parcial mayor o igual a $0.2 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$; pero si la presión parcial del oxígeno se disminuye a $0.1 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ solamente se podrán disolver 4 PPM de oxígeno. Por lo tanto, de la ley de Henry se puede deducir que el oxígeno disuelto en el agua se puede remover reduciéndole simplemente su presión parcial, ya que esto ocasionará que su límite de solubilidad disminuya considerablemente.

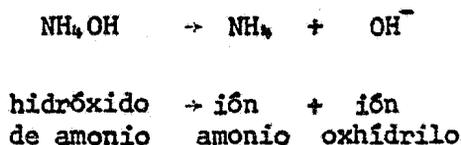
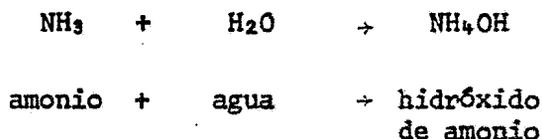
La desviación de la Ley de Henry se puede esperar cuando el gas disuelto en el agua reacciona con ésta. Por ejemplo, si se tiene bióxido de carbono (CO_2) disuelto, al reaccionar con el agua forma un compuesto ines-

table, ácido carbónico (H_2CO_3), el cual ioniza al radical bicarbonato (HCO_3) y al ión hidrógeno (H^+). El radical bicarbonato se ioniza después con el radical carbonato (CO_3^{-2}) y el ión hidrógeno (H^+) de la siguiente forma:



Como se puede ver la concentración del ión hidrógeno o PH controla la distribución del bióxido de carbono, de ahí que el bióxido de carbono se pueda remover fácilmente con niveles bajos de PH.

Si ahora se tiene amoníaco en vez de bióxido de carbono disuelto en el - agua, éste forma otro compuesto inestable llamado hidróxido de amonio (NH_4OH), el cual se ioniza como ión amonio (NH_4^+) y como ión oxhidrilo (OH^-) en la siguiente forma



Aquí también la concentración de PH controla la distribución del amoniaco, lográndose una mejor remoción con niveles de PH (alcalinos).

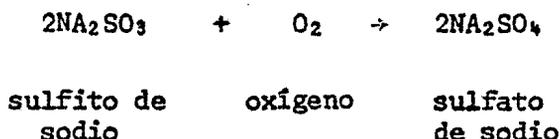
Puesto que la mejor remoción de amoniaco es realizada con valores altos de PH y la remoción del bióxido de carbono es más eficiente con valores de PH bajos, la remoción de ambos no será eficiente usando deaeradores solamente, por lo que será necesario agregarle al agua reactivos químicos que al reaccionar ayuden a remover todos los gases corrosivos disueltos en el agua de alimentación de generadores de vapor.

Reactivos Químicos

La investigación sobre reactivos catalíticos para mejorar la remoción de oxígeno, produjo el catalizador sulfito de sodio el cual asegura una remoción mayor de oxígeno.

En generadores de vapor cuya presión de operación es inferior a $70.455 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

el reactivo usado comunmente en la deareación es el sulfito de sodio, porque es de bajo costo, fácil de manejar y no tiene características de formación de incrustaciones. La reacción es:



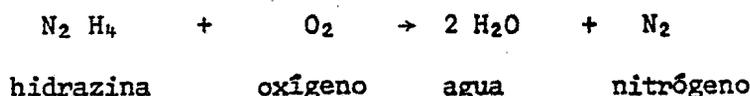
Teóricamente se requieren 7.83 ppm de sulfito de sodio químicamente puro para remover 1 ppm de oxígeno disuelto en el agua [10]. En la operación normal de una planta usualmente se requiere alimentar aproximadamente 4.5454 Kg de sulfito de sodio por cada 0.54454 Kg de oxígeno presente en el agua.

Una gran cantidad de factores afectan a la velocidad de reacción sulfito-oxígeno. El más importante es la temperatura, debido a que al aumentar ésta la velocidad de reacción también se incrementa de manera que, generalmente, con cada 10°C de incremento en la temperatura se duplica la velocidad de reacción [10]. A temperaturas superiores a 100°C, la reacción es mucho más rápida. Por otra parte el exceso de sulfito de sodio también aumenta la velocidad de reacción y la velocidad de reacción es todavía más rápida si se tienen valores de PH de 9 a 10.

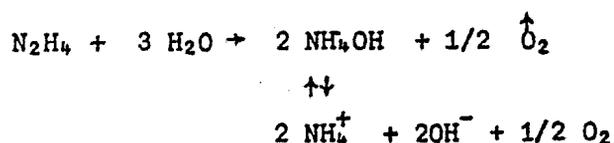
En generadores de vapor cuya presión de operación es mayor a $70.455 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ se prefiere usar hidrazina en lugar de sulfito de sodio. Esto se debe a que en estos intervalos de presión, los incrementos de sólidos disuel-

tos precipitados por el sulfato de sodio (producto de la reacción sulfito de sodio-oxígeno), se fijan en la superficie del generador, formando incrustaciones que como ya se mencionó, obstruyen la transmisión de calor. Además el sulfito de sodio tiende a descomponerse en el generador de vapor a altas presiones, formando dióxido de azufre (SO₂) y ácido sulfídrico (H₂S) los cuales pueden causar corrosión en el sistema.

La hidrazina es un agente reductor que no tiene esas desventajas en operación a altas presiones y remueve el oxígeno reaccionando de la siguiente manera:



Puesto que los productos de esta reacción son agua y nitrógeno, la reacción no agrega sólidos al agua del generador de vapor. La reacción de la hidrazina con el agua es:



Porque sufre una disociación por el agua.

Como los productos de la reacción anterior son amonio y oxígeno estos pueden causar corrosión en el interior del generador. Sin embargo, aplicando correctamente la hidrazina, se puede controlar la concentración de

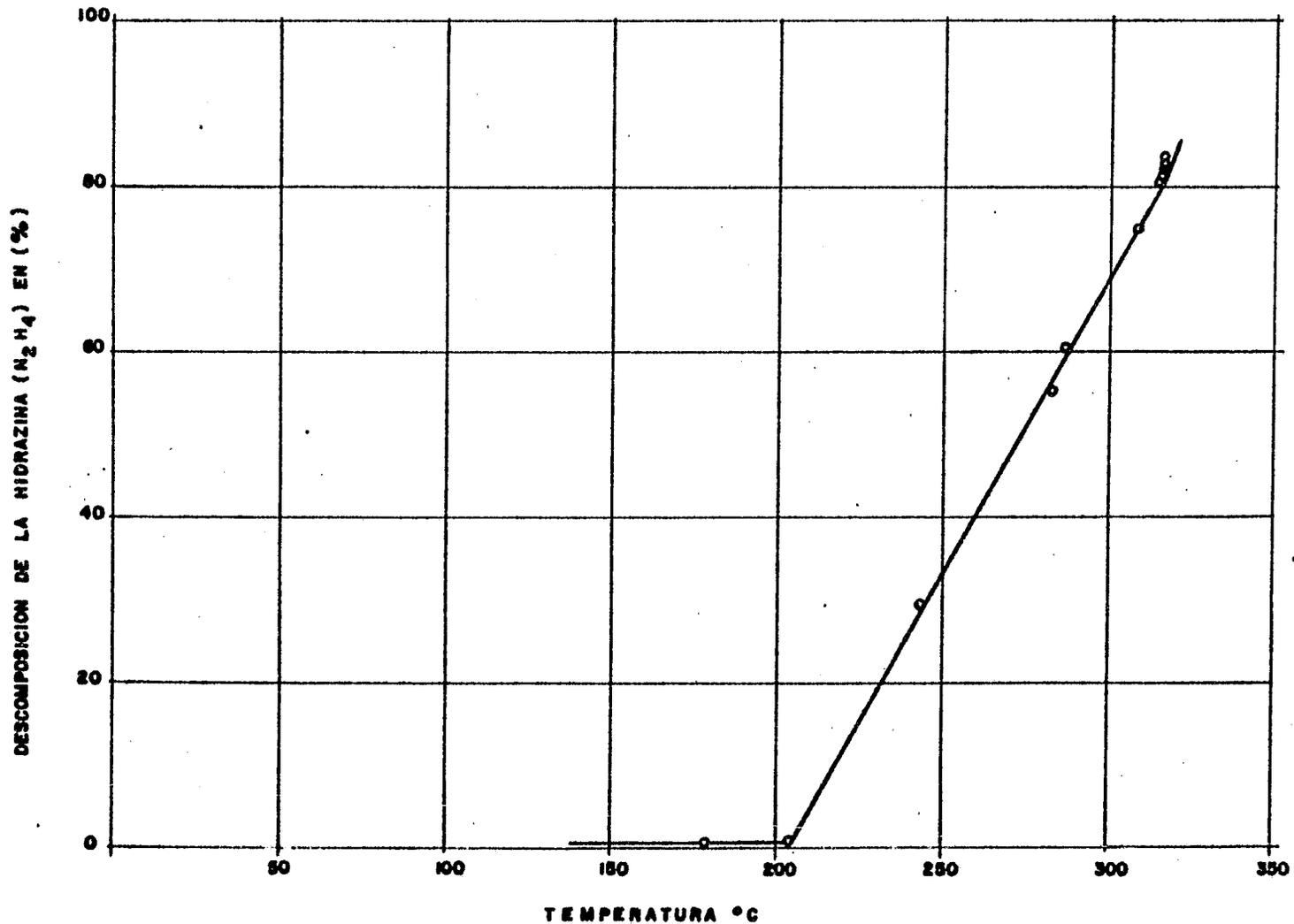


FIG. 22 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA DESCOMPOSICION DE HIDRAZINA A 0.6 P.P.M.

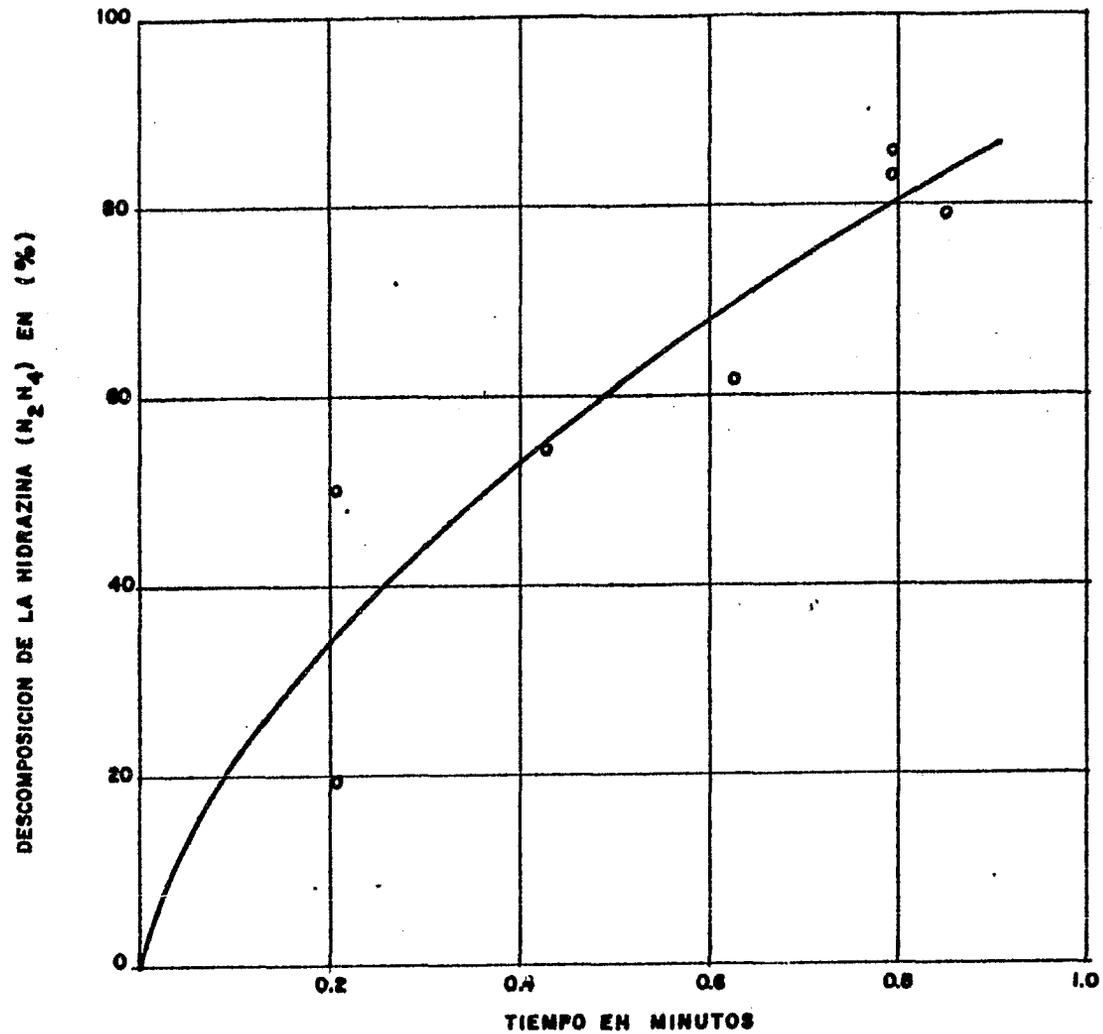


FIG. 23 VELOCIDAD DE DESCOMPOSICION DE LA HIDRAZINA A 315.6° C (600° F)

Como se mencionó, el principal problema del agua de alimentación de gene
radores de vapor, es la formación de incrustaciones que funcionan como
aislantes en superficies transmisoras de calor.

En general los dos procesos más comunes para la obtención de agua de alimen
tación para generadores de vapor son:

A) Desmineralización

El proceso de desmineralización por intercambio iónico es usado amplia-
mente para tratamiento de agua en generadores de vapor de alta presión.
Su uso para eliminar sílice principalmente para lo cual se usan unidades
de intercambio catiónico ciclo hidrógeno y unidades de intercambio aniónico
co fuertemente básicos. Dependiendo de la cantidad de bicarbonato presente
te se puede usar un deareador entre las dos etapas para eliminar el CO_2
formado al descomponerse el ácido carbónico en dióxido de carbono y agua.

B) Destilación

Este proceso no es usado frecuentemente debido a que tiene un alto costo
inicial (consultar capítulo IV); sin embargo a través de este proceso se
pueden remover casi todos los minerales que contenga el agua.

El grado requerido de pureza del agua depende del uso particular que se
le vaya a dar. Por esta razón en el proceso de tratamiento es conveniente
te tener varios sistemas separados ya que generalmente no es necesario

purificar toda el agua que entra a la planta.

El tratamiento de toda el agua cruda que entra a la planta puede inducir un proceso de tamizado y sedimentación para separar sólidos suspendidos, pero el tratamiento subsecuente dependerá del uso final de cada sistema de agua.

Los costos de tratamiento de agua varían con los problemas locales. Mientras que algunas plantas se benefician de un pretratamiento a través de la compra de agua municipal, otras obtienen agua de lagos, pozos, aguas negras o agua de mar, en cuyo caso deben tratar el agua desde su estado natural.

Las decisiones que se deben tomar cerca del tratamiento de agua involucran:

1. Fijar estándares de calidad del agua para alimentación de generadores de vapor
2. Evaluar el uso total del agua, incluyendo agua de enfriamiento y de servicio, así como la recirculación y disposición
3. Considerar el capital de inversión y los costos de operación

Para poder presentar los procesos de tratamiento según la utilización del agua tratada, se pueden dividir en tres procesos de tratamiento A, B y C.

PROCESO A: Este proceso de tratamiento es aplicable para agua de sistema de enfriamiento o como paso preliminar para obtener agua de más alta calidad.

PROCESO B: Se utiliza para la remoción de sólidos suspendidos y se obtiene agua clara que puede usarse en generadores de baja presión o como paso preliminar para obtener agua de mejor calidad.

PROCESO C: Son procesos de intercambio iónico y otras técnicas para la remoción de sólidos disueltos por métodos que no involucran precipitación química, obteniéndose agua para la alimentación de generadores de vapor de baja y alta presión.

Su representación esquemática en un diagrama de bloques se muestra en la fig. 2.4 {13}.

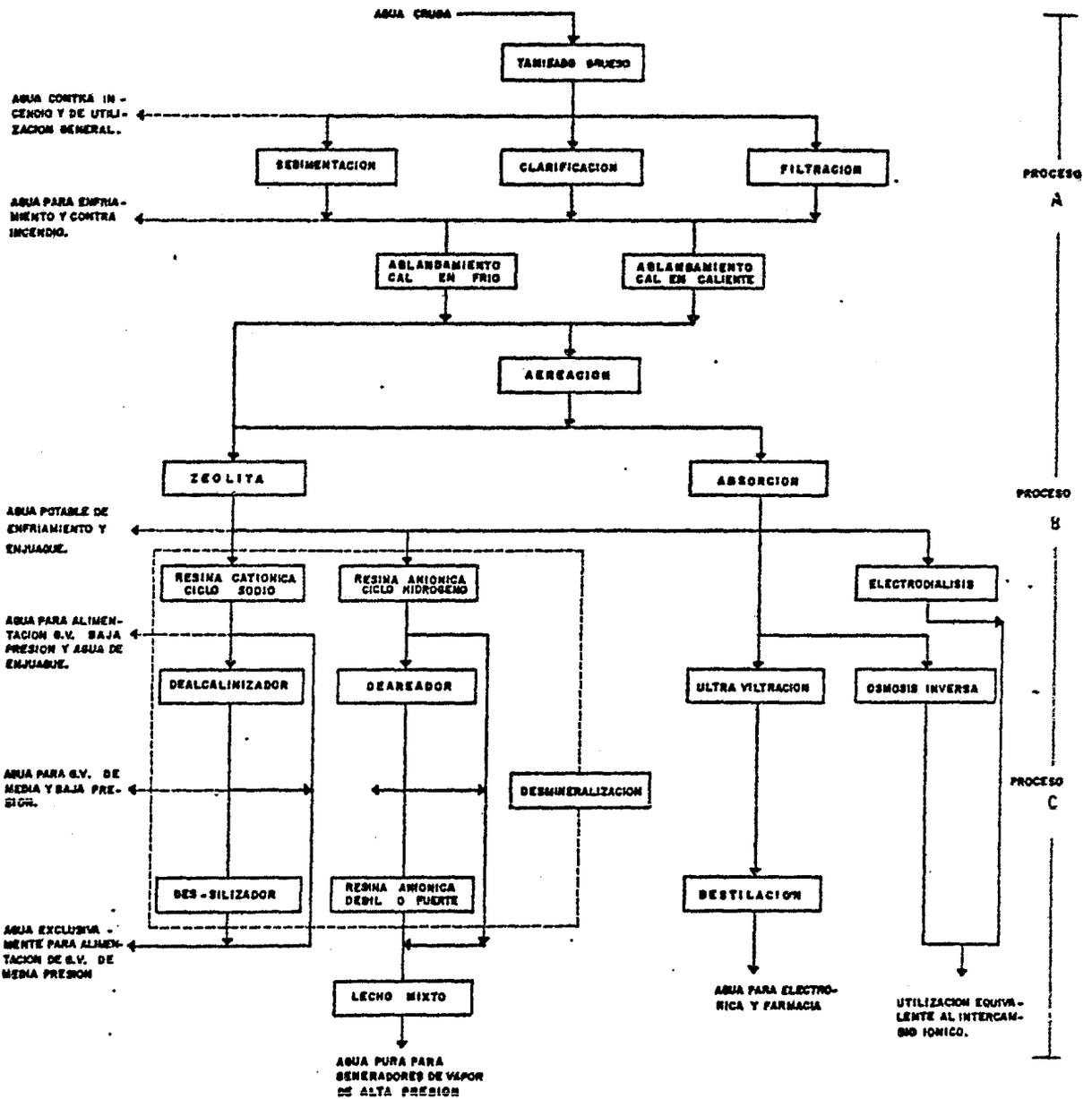


Fig 2.4 - PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA.

III. CALIDAD DEL AGUA PARA EL SISTEMA GENERADOR SOLAR

A continuación se describe el proceso de obtención de los datos necesarios para posteriormente poder seleccionar el proceso adecuado.

3.1 Normas

Puesto que el evaporador del sistema generador solar opera a $10.2 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$, de acuerdo al código de normas de Industrias SELMEC, sección calderas, los estándares de calidad del agua para alimentación de calderas, cuya presión de operación es menor a 21 Kg/cm^2 (300 lg/pulg^2) son:

| | VALOR ACEPTABLE | VALOR LIMITE |
|------------------------------------|-----------------|--------------|
| Sólidos totales disueltos | 800 ppm | 2 000 ppm |
| Sólidos en suspensión | 30 ppm | 125 ppm |
| Sólidos fijos | 770 ppm | 1 875 ppm |
| Alcalinidad total | 150 ppm | 700 ppm |
| Dureza | 0 ppm | 0 ppm |
| Oxígeno | 10-20 ppm | 70 ppm |
| Bióxido de carbono CO ₂ | 10-20 ppm | 70 ppm |

Tabla 3.1

Para seleccionar un método de tratamiento de agua que se adapte a las necesidades del sistema generador solar, necesitamos tener una caracterización de las propiedades del afluente de agua de operación, que para éste caso especial el afluente es la red de agua potable de Ciudad Universitaria, por lo cual fué necesario realizar las siguientes pruebas.

3.2 Determinación del PH

La concentración de los iones hidrógeno es medida por medio de un electrodo, el cual desarrolla un potencial proporcional a los iones hidrógenos que penetran por su membrana. Esta medición se hace contra un potencial estandar.

3.2.1 Equipo

- i) Un potenciómetro marca Corning modelo 610-A, portátil, equipado con un electrodo de PH

3.2.2 Reactivos

- i) Solución patrón de PH = 4.0
- ii) Solución patrón de PH = 7.0

3.2.3 Procedimiento

Antes de usarlo se saca el electrodo del agua, se enjuaga con agua destilada y se seca con un papel suave. Se calibra el instrumento con el electrodo sumergido en una solución patrón de PH = 4.0 y después con la solución de PH = 7.0. De nuevo se saca el electrodo, se enjuaga y se seca para sumergirlo en la muestra. Si la temperatura de la muestra es diferente a las de las soluciones, se ajusta la temperatura en el compensador del potenciómetro. Después se procede a tomar la lectura que registra la carátula de éste.

3.2.4 Resultados

Las mediciones obtenidas se muestran en la tabla 3.2

| No. de muestra | lectura de RH |
|----------------|---------------|
| 1 | 7.15 |
| 2 | 7.25 |
| 3 | 7.225 |
| 4 | 7.30 |
| 5 | 7.25 |

Tabla 3.2

3.3 Determinación de la dureza total

La dureza del agua, como ya se mencionó, se debe a los compuestos, carbonatos, bicarbonatos, sales de calcio y magnesio principalmente, por lo cual hay dureza de carbonatos y dureza de no carbonatos y la suma de ambas nos da la dureza total.

3.3.1 Equipo

- i) 2 matraces aforados de 1 lt
- ii) 5 matraces Erlenmeyer de 250 ml
- iii) 3 probetas de 50 ml
- iv) 1 Bureta
- v) 2 parrillas con agitador magnético
- vi) 1 soporte universal

| No. de muestra | lectura de PH |
|----------------|---------------|
| 1 | 7.15 |
| 2 | 7.25 |
| 3 | 7.225 |
| 4 | 7.30 |
| 5 | 7.25 |

Tabla 3.2

3.3 Determinación de la dureza total

La dureza del agua, como ya se mencionó, se debe a los compuestos, carbonatos, bicarbonatos, sales de calcio y magnesio principalmente, por lo cual hay dureza de carbonatos y dureza de no carbonatos y la suma de ambas nos da la dureza total.

3.3.1 Equipo

- i) 2 matraces aforados de 1 lt
- ii) 5 matraces Erlenmeyer de 250 ml
- iii) 3 probetas de 50 ml
- iv) 1 Bureta
- v) 2 parrillas con agitador magnético
- vi) 1 soporte universal

3.3.2 Reactivos

- i) Indicador de Eriocromo negro T
- ii) Solución amortiguadora para prueba de dureza
- iii) Titulador valorado EDTA 0.01 M
- iv) Solución valorada de calcio

3.3.3 Procedimiento

La duración de la titulación no debe exceder de 5 minutos, contados a partir del tiempo de la adición de la solución amortiguadora.

- i) En un vaso de precipitado se diluyen 25 ml de la muestra con 25 ml con agua destilada
- ii) Se agregan 1 o 2 ml de la solución amortiguadora; por lo general es suficiente 1 ml para obtener un PH = 10.0
- iii) Se agregan 1 ó 2 gotas de la solución del indicador
- iv) Se agrega lentamente el titulador, con agitación continua hasta que desaparezca de la solución el último tinte rojizo, agregando las últimas gotas de 3 a 5 segundos de intervalo. En el vire, el color de la solución es azul bajo condiciones normales

3.3.4 Calculos [11].

$$\text{Dureza (EDTA) en mg/l de CaCO}_3 = \frac{\text{Ml del titulador EDTA} * 1000 * f}{\text{Ml de muestra}}$$

$$\text{donde: } f = \frac{\text{mg. CaCO}_3}{\text{ml. Titulador EDTA}}$$

3.3.5 Resultados

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.3

| No. de Muestra | Dureza CaCO ₃ /l H ₂ O |
|----------------|--|
| 1 | 64.4 |
| 2 | 63.8 |
| 3 | 65.1 |
| 4 | 64.4 |
| 5 | 64.0 |

Tabla 3.3

3.4 Determinación de sólidos totales

Los sólidos pueden ser sustancias orgánicas o inorgánicas que se encuentran en el agua.

Las muestras se deben analizar inmediatamente después de la toma para reducir los cambios fisicoquímicos.

3.4.1 Equipo

- i) 5 cápsulas de porcelana de 100 ml con 90 mm. de diámetro
- ii) Estufa de secado marca EELISA Modelo 292
- iii) Desecador y agente desecante (arcilla sílica)
- iv) Balanza analítica marca SAUTER Modelo H 80
- v) Pinzas para crisol
- vi) Mufla marca SYBRON Modelo 1500

3.4.2 Procedimiento

- i) Se ponen a peso constante las cápsulas de porcelana durante una hora en la mufla a 550 °C
- ii) Se miden 100 ml de la muestra en una probeta y se transfieren a la cápsula previamente tarada
- iii) Se evapora la muestra hasta que seque en la estufa a 110°C
- iv) Se sacan y enfrían las cápsulas en el desecador
- v) Se pesan las cápsulas en la balanza analítica

3.4.3 Cálculos [11].

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de sólidos totales} = \frac{(B - A) * 10^5}{\text{ml de muestra}}$$

Donde: A = Peso de la cápsula de (mg)

B = Peso de la muestra + peso de la cápsula

3.4.4 Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.4 (pág)

3.5 Sólidos volátiles y sólidos fijos

3.5.1 Equipo

El mismo que se utilizó en el análisis de sólidos totales.

3.5.2 Procedimiento

- i) Una vez determinados los sólidos totales se calcula el residuo de la evaporación obtenido en el análisis. Para ello se introducen las cápsulas en la mufla a $550^{\pm} 25^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos
- ii) Se enfrían las cápsulas, primero en la estufa a 100°C y posteriormente en el desecador
- iii) Se pesan las cápsulas en la balanza analítica

3.5.3 Calculos {11}.

Se reporta la pérdida de peso en la calcinación como sólidos volátiles y el remanente como sólidos fijos.

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de sólidos volátiles} = \frac{(B-C) * 10^6}{\text{ml de muestra}}$$

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de sólidos fijos} = \frac{(C-A) * 10^6}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

A = Peso de la cápsula en mg

B = Peso de los residuos sólidos + peso de la cápsula antes de la calcinación, en mg

C = Peso de los residuos sólidos + peso de la cápsula después de la calcinación, en mg

3.5.4 Resultados

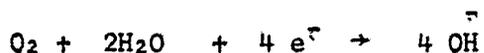
Los resultados se muestran en la tabla 3.4

| No. de muestra | Sólidos totales ($\frac{mg}{l}$) | Sólidos volátiles ($\frac{mg}{l}$) | Sólidos fijos ($\frac{mg}{l}$) |
|----------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 1 | 274 | 56 | 218 |
| 2 | 322 | 47 | 275 |
| 3 | 256 | 35 | 221 |
| 4 | 260 | 33 | 227 |
| 5 | 325 | 11 | 314 |

Tabla 3,4

3.6 Determinación del oxígeno disuelto en el agua

El oxígeno disuelto en el agua se difunde a través de la membrana del electrodo polarográfico y es reducido a ión hidróxido en el cátodo de plata de acuerdo a la siguiente reacción:



Los electrones necesarios para este proceso son proporcionados por el ánodo de plata; por tener el electrolito iones cloruro, la reacción que ocurre en el ánodo es:



A cualquier temperatura, la corriente que fluye entre el cátodo y el ánodo es directamente proporcional al nivel del oxígeno disuelto {12}.

3.6.1 Equipo

- i) 5 botellas Winkler de 300 ml
- ii) Electrodo de oxígeno disuelto medidor de ión selectivo
- iii) Potenciómetro milivoltímetro
- iv) Parrilla con agitador magnético

3.6.2 Reactivos

- 1) Sulfito de sodio

3.6.3 Procedimiento

- i) Descripción de los controles de operación en el interruptor selector: tiene cinco posiciones que se seleccionan de acuerdo a la operación requerida:

| | |
|------------------|---|
| OFF | Se usa cuando el electrodo está fuera de uso |
| B.T.C.K. | Se usa para revisar el estado de la batería |
| ZERO | Se calibra el cero electrónico del electrodo |
| AIR | Se usa para calibrar el electrodo con el aire |
| H ₂ O | Se usa para análisis en el agua |

Control de calibración de la presión del aire.

Se usa para obtener la presión barométrica del aire en la escala del potenciómetro

- ii) Se coloca el interruptor selector en OFF. El potenciómetro se hace trabajar en PH. Se pone el selector de la pendiente del potenciómetro a 100% y el control de la temperatura a 25°C. Se pone la lectura a 7.00 con el calibrador de estandarización
- iii) Se cambia el interruptor selector a B.T.C.K. Si se tiene una lectura de 13.00 o más las bacterias están bien
- iv) Se cambia el interruptor selector a la posición ZERO y con el control de calibración ZERO se ajusta el aparato a 0.00
- v) Se inserta el embudo dentro de la botella Winkler la cual contiene poca agua. Después se inserta el electrodo procurando que la punta del electrodo no toque el agua. Esta botella se usa para sostener el electrodo entre una y otra medición
- vi) Se cambia el interruptor selector a la posición de aire y se calibra la posición barométrica de acuerdo a la altura del sitio de análisis (7.16 D.F.)
- vii) Se inserta el embudo en la botella con la muestra, y se introduce el electrodo estandarizado dentro del embudo. La muestra desplazada por el electrodo será colectada por el embudo
- viii) Se gira el interruptor del electrodo a la posición de H₂O y se coloca el potenciómetro en posición PH

- ix) Se obtiene la lectura en la pantalla en Mg/l de oxígeno disuelto
- x) Se saca el electrodo, se lava con agua destilada y se almacena en la botella preparada para ello

3.6.4 Resultados

Las mediciones hechas se muestran en la tabla 3.5

| No. de muestra | Oxígeno disuelto ($\frac{mg}{l}$) |
|----------------|-------------------------------------|
| 1 | 5,776 |
| 2 | 5,738 |
| 3 | 5,852 |
| 4 | 5,852 |
| 5 | 5,776 |

Tabla 3.5

3.7 Determinación del bióxido de carbono libre en el agua

El bióxido de carbono libre se encuentra presente, por lo general, en las aguas superficiales y, con mayor frecuencia y grado, en aguas profundas. El contenido de bióxido de carbono del agua puede contribuir, en forma significativa, al problema de corrosión.

Método Nomográfico

Este método proporciona, por lo general, una estimación más precisa del contenido total de bióxido de carbono libre, siempre y cuando las determinaciones de PH y alcalinidad total se verifiquen en forma correcta.

3.7.1 Equipo

- i) Nomograma para evaluar el bióxido de carbono libre, (fig. 3.7) (ver pág 55).

3.7.2 Procedimiento

- i) Se alinea la temperatura (escala 1) y los sólidos totales (escala 3) para determinar el punto P en la línea 2
- ii) Ahora se alinea el PH (escala 4) y la alcalinidad de bicarbonato (escala 7), para determinar el punto P₂ sobre la línea 6
- iii) Por último se alinean los puntos P₁ y P₂ para leer el bióxido de carbono en la intersección con la escala 5

3.7.3 Resultados

Las lecturas obtenidas se muestran en la tabla 3.7

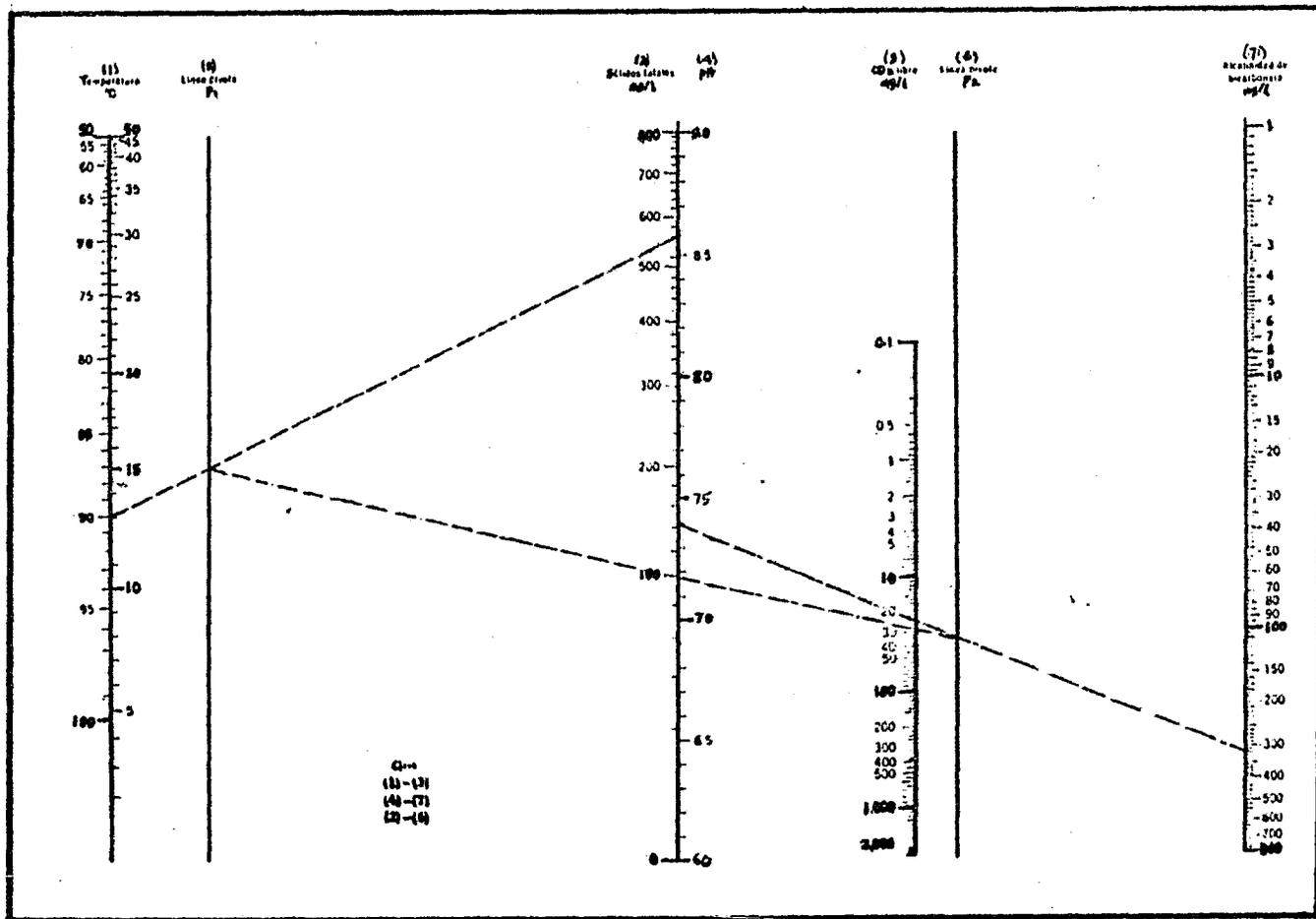


Fig. 3.7 Nomograma para evaluar el bióxido de carbono libre

| No. de muestra | Sólidos totales ($\frac{mg}{l}$) | Temperatura (°C) | Alcalinidad Total ($\frac{mg}{l}$) | CO ₂ Libre en el agua ($\frac{mg}{l}$) |
|----------------|---------------------------------------|---------------------|---|--|
| 1 | 274 | 17.5 | 134 | 3 |
| 2 | 322 | " | 132 | 2.6 |
| 3 | 256 | " | 134 | 3 |
| 4 | 260 | " | 133 | 2.8 |
| 5 | 325 | " | 132 | 2.6 |

Tabla 3.7

3.8 Resumen

Las propiedades del afluente de operación, tomando la media aritmética de los valores medidos, son:

| | |
|--------------------|----------------------------------|
| Sólidos totales | 287 $\frac{mg}{l}$ |
| Sólidos volátiles | 36 $\frac{mg}{l}$ |
| Sólidos fijos | 251 $\frac{mg}{l}$ |
| Alcalinidad total | 133 $\frac{mg}{l}$ |
| Dureza total | 64 (mg $\frac{CaCO_3}{l-H_2O}$) |
| PH | 7.235 |
| Oxígeno disuelto | 5.7988 $\frac{mg}{l}$ |
| Bióxido de carbono | 2.8 $\frac{mg}{l}$ |

Tabla 3.8

Haciendo una comparación de la tabla 3,8 de estándares de calidad del agua con la tabla 3,7 de las propiedades del afluente, se observa que to dos los parámetros del agua del afluente están por abajo de los estándares establecidos a excepción de la dureza, ya que se tienen 64 (Mg CaCO_3 /l H_2O). De manera que el problema en este caso particular se reduce solamente a la eliminación de la dureza.

IV. ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA GENERADOR SOLAR

Habiendo establecido que el problema de tratamiento del agua de alimentación del sistema generador solar se reduce a la eliminación de la dureza, ahora se establecerán las alternativas para realizar este tratamiento. Como se manifestó en el segundo capítulo existen varias maneras de eliminar la dureza; siendo que algunas de éstas tienen un alto costo se decidió tomar las cuatro formas que se presentan como las más viables económicamente.

Lo que a continuación se desarrolla son los cálculos que establecen los diseños aproximados de cada una de las alternativas y los costos de los equipos que los conforman.

4.1 Alternativa uno; Destilación

En esta primera alternativa se plantea el suministro de agua bidestilada a obtenerse de un proceso de doble destilación mediante destiladores solares. La fig. 4.1 muestra el diagrama de bloques del proceso.

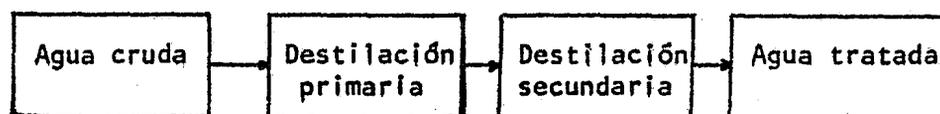


Fig. 4.1.1 Diagrama del Sistema de Destilación

De datos experimentales [13] para obtener 28 lts/día de agua destilada con destiladores de cubierta de una agua (en forma triangular) se necesita 3.6 m² de superficie de calefacción.

Este diseño puede modificarse para aumentar su eficiencia y a la vez reducir la superficie de calefacción hasta una tercera parte usando destiladores con múltiple cubierta.

Si en el diseño se incluyen destiladores con cubierta simple, se necesitan 772 m² de superficie calefactora para tratar el volumen de agua que demanda el sistema (6 m³/día). Por otro lado, se se usan destiladores de cubierta múltiple, solamente se necesitarían 270 m² de superficie calefactora.

El costo unitario de este proceso es, a precio de oct. 1982;

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| Cubierta de vidrio | \$ 3,800.00 |
| Charola de evaporación | 6,000.00 |
| Aislante térmico | 2,000.00 |
| Accesorios (sellos, purgas, otros) | <u>1,500.00</u> |
| Costo total | \$13,500.00 |

Estos costos están referidos a un área de 3.6 m^2 que es el área del destilador modelo, de manera que el costo unitario es igual a \$ 3,695.00 por m^2 . Puesto que necesitamos 270 m^2 tendremos un costo inicial aproximado de \$ 997,500.00.

Esta alternativa necesita de una bomba para suministrar agua a las charolas de evaporación de cada destilador. Considerando una configuración preliminar de la tubería, como lo que se muestra en la fig. 4.1.2.

Con un diámetro de la tubería de entrada a la instalación de 1 plg cd 40, y mediante el uso de las tablas que se especifican en {14} para cd 40 se tienen los siguientes datos:

$$D_i = 1.049 \text{ plg} = 0.0874 \text{ pies} = 0.02664 \text{ m}$$

$$A_T = 0.864 \text{ plg}^2 = 0.0060 \text{ pie}^2 = 0.000558 \text{ m}^2$$

$$\mu = 0.98 \text{ centipoise} = 5.9395 \times 10^{-4} \frac{\text{lb}}{\text{pie} \cdot \text{seg}} = 8.839 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{seg}}$$

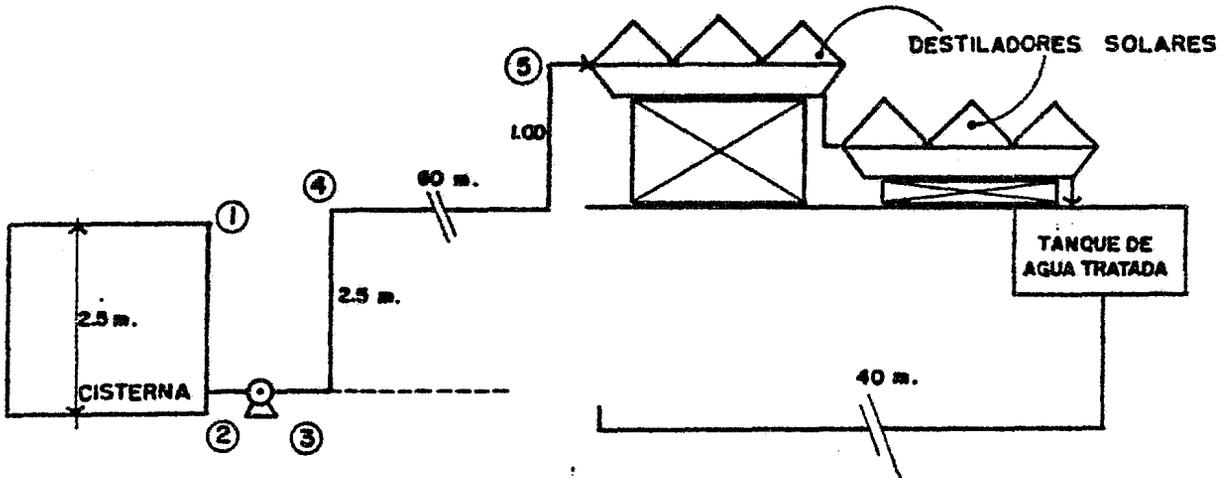


Fig. 4.1.2 Diagrama esquematizado del proceso de destilación

De datos experimentales [15] la velocidad del fluido recomendada para agua de servicio general y succión de bombas es de 6 a 8 pps; seleccionando una

$$V = 6 \text{ pps} = 1.83 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

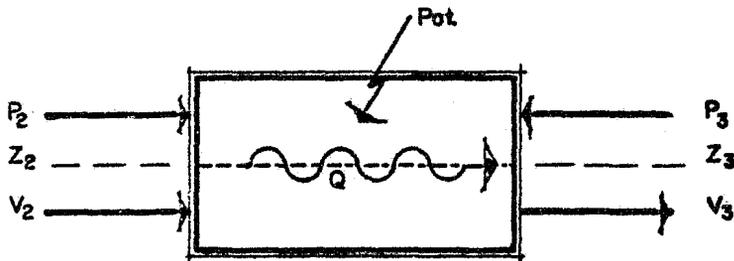
$$\dot{m} = \rho v A$$

$$\dot{m} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.83 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0.000558 \text{ m}^2 = 1.02 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$$

$$\dot{m} = 1.02 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$$

$$v = 1.83 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Aislando la bomba con un volumen de control



Aplicando la ecuación de Bernoulli al volumen de control anterior.

$$\gamma Q \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) + Pot = \gamma Q \left[Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_l \right]$$

$$Pot = \gamma Q \left\{ \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) + h_l \right\} \quad (4.1.1)$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli, pero ahora a la sección 1-2:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Sustituyendo datos se obtiene

$$2.5 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (4.1.2)$$

Si aplicamos la ecuación de Bernoulli a la sección 3-4:

$$Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = Z_4 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g}$$

Sustituyendo datos conocidos.

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = 2.5 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} \quad (4.1.3)$$

Y por último, aplicando la ecuación de Bernoulli a la sección 4-5:

$$Z_4 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} = Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2g}$$

$$\frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} = Z_5 - Z_4 \quad (4.1.4)$$

Sustituyendo valores en la ecuación (4.1.4)

$$\frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} = 3.5 - 2.5 = 1 \text{ m} \quad (4.1.5)$$

Sustituyendo la expresión (4.1.5) en (4.1.3)

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = 2.5 + 1 = 3.5 \text{ m} \quad (4.1.6)$$

$$\text{puesto que } h_l = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (4.1.7)$$

$$\text{Donde: } L = L_{eq} + L_L$$

$$L_{eq} = 8 \text{ codos} * 30 = 240 * 0.02664 \text{ m} = 6.394 \text{ m}$$

$$L_L = 2.5 + 60 + 1 + 40 = 103.5 \text{ m}$$

$$L = 103.5 + 6.394 = 110 \text{ m}$$

Para conocer el factor de fricción es necesario evaluar el número de Reynolds.

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{(1.83 \frac{\text{m}}{\text{seg}}) (0.02664 \text{ m}) (1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}{8.839 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{seg}}} = 5.52 \times 10^4$$

Puesto que se conoce el material del tubo, se puede conocer la rugosidad relativa.

$$\frac{e}{D} = \frac{0.00015}{0.0874 \text{ (pies)}} = 0.0017$$

De tablas de [14], se obtiene el factor f :

$$f = 0.025$$

Sustituyendo f y los demás valores conocidos en la ec (4.1.7)

$$h_1 = 0,025 * \frac{110 \text{ m}}{0,02664 \text{ m}} * \frac{1,832 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} = 17,6 \text{ m} \quad (4.1.8)$$

Sustituyendo los valores de (4.1.8), (4.1.6) y (4.1.2) y la ecuación (4.1.1)

$$\text{Pot} = \gamma Q \{ (3,5 - 2,5) + 17,6 \}$$

$$\text{Pot} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \{ 1\text{m} + 17,6 \text{m} \} = 18,6 \frac{\text{Kgf-m}}{\text{seg}}$$

$$\text{Pot} = 18,6 \frac{\text{Kgf-m}}{\text{seg}} * \frac{9,81 \text{ Nt}}{1 \text{ Kgf}} = 182,5 \text{ watts}$$

$$\text{Pot} = 182,5 \text{ watts} * 0,00134102 = 0,24 \text{ HP}$$

$$\text{Pot} = 0,24 \text{ HP}$$

Considerando una eficiencia de la bomba de $N_b = 80\%$

$$\text{Pot} = 0,31 \text{ HP}$$

Comercialmente será una bomba de $\text{Pot} = 1/2 \text{ HP}$

$$\text{Pot } b_1 = 1/2 \text{ HP}$$

Esta bomba tiene un costo de \$ 12,500.00

Nota: Se admite que esta potencia resulta de las altas caídas de presión impuestas por la tubería de 1" ϕ ya existente. Si esta se sustituye por otra de 1¹/₂" ϕ las pérdidas de presión se reducen a aproximadamente la mitad, y con ellas la potencia necesaria en la bomba.

4.2 Alternativa dos; Suavizador

En este procedimiento se cambian los iones calcio y magnesio a iones sodio haciendo uso de una resina contenida en un tanque donde se lleva a cabo la reacción. La fig. 4.2.1 muestra un diagrama esquemático de este proceso.

De acuerdo a las propiedades de cada resina, la que más conviene para este caso es AMBERLITE ir-120 R&H (poliestirénica sulfonada) (16).

El volúmen de resina necesario se determina con la siguiente expresión; (16).

$$VR = \frac{.QIt (0.0035)}{Ax}$$

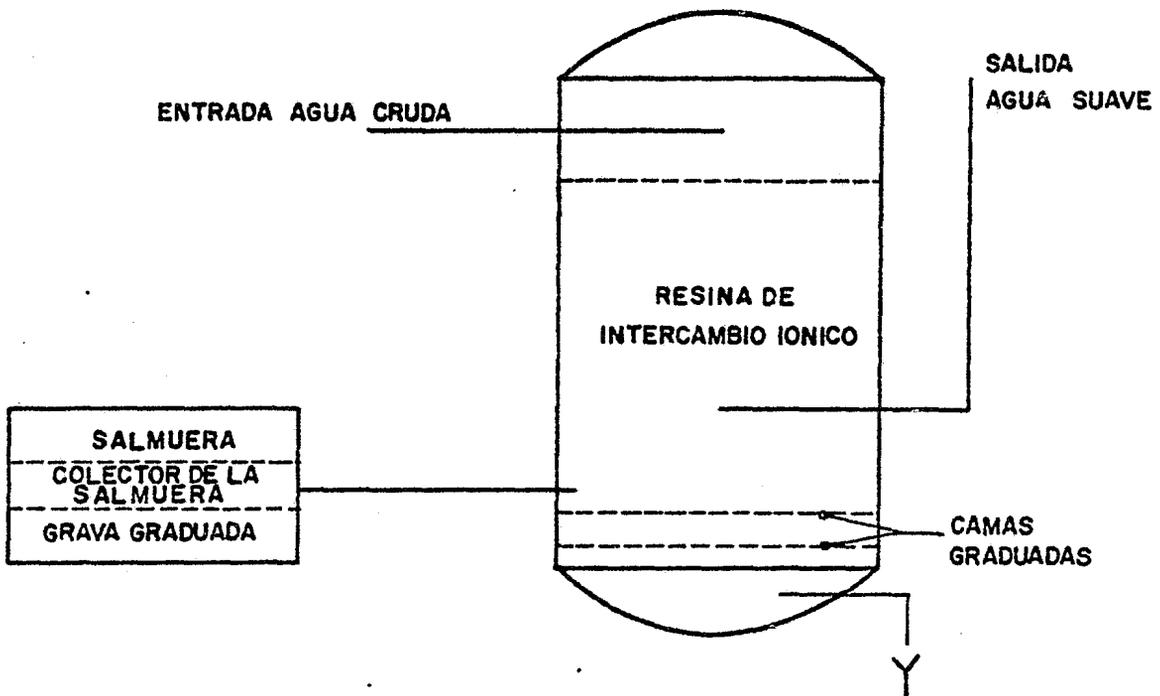


Fig. 4.2.1 Suavizador

Donde: Q = Gasto máximo de operación = 26 lpm = 7gpm

I = Dureza en el agua cruda = 64 ppm

t = Tiempo de regeneración = 52 hrs

A_x = Capacidad de la resina = $29.3 \frac{\text{K granos como CaCO}_3}{\text{pie}^3}$

V_R = Volumen de resina (pie^3)

Sustituyendo valores conocidos en la ecuación anterior

$$V_R = \frac{7 \cdot 64 \cdot 52 \cdot 0.0035}{29,3} = 2.783 \text{ (pie}^3\text{)}$$

La práctica recomienda {16}, para este tipo de resina, un flujo por área de 3 gpm/ft²; con este valor y con el gasto máximo de 7 gpm de la tabla 29 {16}, se obtiene un diámetro de 16 plg = 1.33 (pies) y el área = 1.2362 (pie²).

$$\text{La profundidad del lecho es} = \frac{V_R}{A}$$

$$\text{Prof. lecho} = \frac{V_R}{A} = \frac{2.783}{1.236} = 2.25 \text{ (pies)} = 68.82 \text{ cm}$$

considerando un factor de expansión de 1.75%, se tiene que la altura del tanque es:

$$h = (\text{Prof. lecho}) \cdot \text{fact. exp} = 68.62 \cdot 1.75 = 120.1 \text{ cm}$$

Por lo tanto el suavizador que se necesita debe tener las siguientes características generales.

- . Diámetro del tanque = 40.64 cm
- . Profundidad del lecho = 68.62 cm
- . Altura del tanque = 120.1 cm
- . Volúmen de resinas = 2.783 (pies³) = 78.8 lt

Los valores anteriores son los parámetros de diseño para el equipo que se requiere; sin embargo, como es sabido, no existe en el mercado un equipo de tales características y mandarlo a construir resultaría antieconómico por lo que se selecciona el equipo que más se aproxime a las características mencionadas. Como resultado se establece que un suavizador por intercambio iónico marca Trataza modelo 165 es el adecuado para realizar la operación. Las características principales de este suavizador son:

- . Diámetro del tanque = 16.0 plg = 40.64 cm
- . Profundidad del lecho = 28.0 plg = 70.12 cm
- . Altura del tanque = 60.0 plg = 152.4 cm
- . Volumen de resina = 2.7896(pie³) = 79.0 lt

El costo a octubre de 1982 es;

| | |
|--|-----------------|
| - Suavizador de intercambio iónico modelo N. 165 | \$ 63,000.00 |
| - más 15% IVA: | <u>9,450.00</u> |
| Precio total alternativa dos | \$ 72,450.00 |

Para esto se usarán dos tanques operando en paralelo con una capacidad de 3 m^3 cada uno y con un diámetro de 1.5 m y una altura de 1.85 m.

Para calcular la potencia del motor que moverá las aspas para agitar 3,000 lts de agua se hace uso del método empleado en {17}, usando un rodete de cuatro paletas rectangulares. Siendo:

- . W = Ancho de la paleta = $0.25 D_i$
- . Z_L = Altura del nivel del líquido en el depósito
- . Z_i = Altura a que esta el rodete sobre el fondo del depósito
- . D_t = Diámetro del depósito = 1.5 m
- . D_i = Diámetro del rodete

Se tiene que:

$$\frac{D_t}{D_i} = 3$$

$$\frac{Z_L}{D_i} = 3 \rightarrow \text{pero } Z_L = 1.70 \text{ m} \rightarrow D_i = \frac{1.70}{3} = 0.5667 \text{ m}$$

por lo tanto el diámetro del rodete es $D_i = 0.5667 \text{ m}$

Ahora, como

$$\frac{Z_i}{Dt} = 0.5 ; Z_i = 0.5 Dt = 0.5 * 1.5 = 0.75 \text{ m}$$

la altura del rodete sobre el fondo del tanque debe ser igual a

$$Z_i = 0.75 \text{ m}$$

DATOS:

$$n = 100 \text{ rpm} = \frac{100}{60} = 1.667 \text{ rps}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 1 \text{ centipoise} = 1 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{seg}}$$

$$Re = \frac{n D_i^2 \rho}{\mu} = \frac{1.667 * 0.5667^2 * 1000}{1 \times 10^{-3}} = 5.354 \times 10^5$$

$$g_c = 9.81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kgf} \cdot \text{seg}^2}$$

El rodete que se utiliza es semejante al utilizado en la construcción de la curva N. 16 de la gráfica N. 477 de [17].

Con el $Re = 5.354 \times 10^5$ calculado antes se obtiene el factor $Q = 0.70$ siguiente ecuación se obtiene la potencia consumida para agitar el agua

$$P = \frac{Q \rho n^3 D_i^5}{g_c} \quad (4.3.1)$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$P = \frac{0.70 * 1000 * (1.667)^3 * (0.5667)^5}{9.81} = -19.319768 \frac{\text{Kg}\cdot\text{m}}{\text{seg}} = 0.2576 \text{ HP}$$

Este resultado no es exacto, ya que no se tuvo en cuenta la formación de vórtices, por lo que es necesario introducir los coeficientes de corrección a través de la curva N. 14° (gráfica N. 477), {17} que es válida para una hélice que trabaja en un depósito de diámetro triple al suyo. Los coeficientes de corrección se obtienen tomando en cuenta el número de Froude (Fr), además del número de Reynolds (Re).

$$Fr = \frac{g}{n^2 D_i} \quad (4.3.2)$$

$$Fr = \frac{9.81}{1.667^2 * (0.5667)} = 6.2294$$

De la gráfica 477 de {17},

$$\frac{P_o}{Fr \left(\frac{a - \log Re}{b} \right)} = 0.90 \quad (4.3.3)$$

Donde:

$$a=1$$

$$b=40$$

$$Po \cdot 0.90 \text{ (Fr)} \frac{a - \log Re}{b} = 0.90 * (6,2294) \frac{1 - \log 5.354 \times 10^5}{40} = 0.725$$

pero

$$Po = \frac{Pg}{n^3 Di^5 \rho}$$

$$P = \frac{Po n^3 Di^5}{g} \quad (4.3.4)$$

$$P = \frac{0.725 * (1.667)^3 * (0.5667)^5 * 1000}{9.81} = 20.01 \frac{\text{Kg-m}}{\text{seg}} * \frac{1}{75} = 0.267 \text{ HP}$$

Puesto que la eficiencia de transmisión mecánica de un acoplamiento con bridas se considera del 100%, la potencia del motor que se requiere es de:

$$p = 0.267 \text{ HP}$$

Comercialmente hay motovariadores de potencia igual a 0.5 HP que será la potencia del motovariador utilizado en este caso, el cual tiene un costo de \$ 215,000.00

Las 4 paletas rectangulares son de acero inoxidable de 1/4 pulg de espesor, ancho igual a = 0.142 m y de longitud igual a = 0.657 m, Su costo es de \$ 3,081,00.

La flecha de transmisión de acero inoxidable N. 304 sin rectificar de 3/4", tiene un costo de \$ 3,532.50.

La mano de obra del maquinado y soldado de las paletas al eje tiene un costo de \$ 3,400.00.

Para llenar el sistema "batch" se necesita una bomba que conducirá el agua de la cisterna a los tanques de tratamiento. El diagrama se muestra en la fig. 4.3.2.

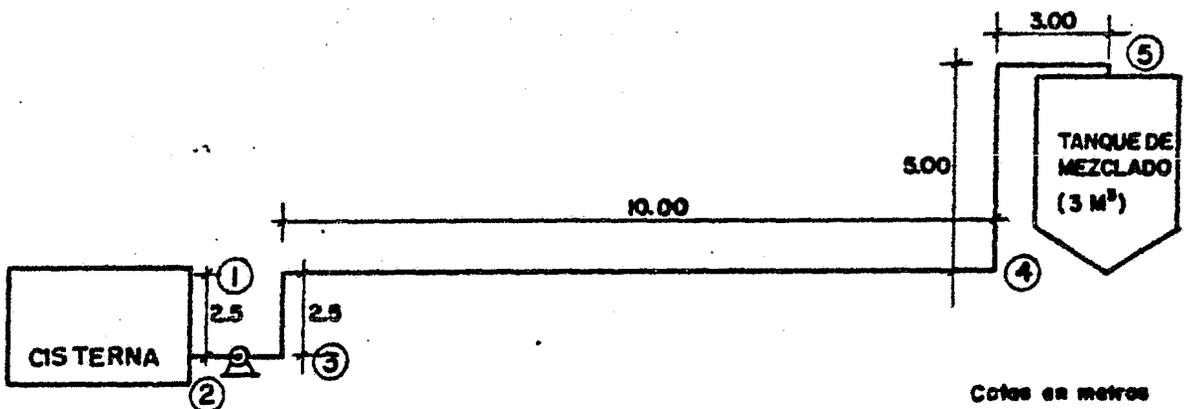


Fig. 4.3.2 Diagrama representativo de la tubería que une la cisterna y el sistema de tratamiento

Obteniendo información a través de {16} tenemos, para un tubo de diámetro = 1 plg y cd 40:

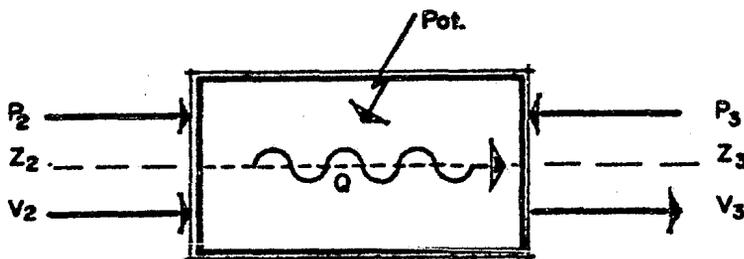
$$D_i = 1.049 \text{ plg} = 0.0874 \text{ pies} = 0.02664 \text{ m}$$

$$A_t = 0.864 \text{ plg} = 0.006 \text{ pies} = 0.000558 \text{ m}^2$$

$$\mu = 0.98 \text{ centipoise} = 8.839 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m-seg}}$$

De {15}, se obtiene la velocidad recomendada que es igual a 1.83 m/seg.

Aislando la bomba con un volumen de control.



Aplicando la ecuación de Bernoulli al volumen de control

$$\gamma Q \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) + \text{Pot} = \gamma Q \left(Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_l \right)$$

$$\text{Pot} = \gamma Q \left\{ \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) + h_l \right\} \quad (4.3.5)$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli pero la sección 1 - 2:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Sustituyendo datos se obtiene

$$2.5 \text{ m} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (4.3.6)$$

Si aplicamos la ecuación de Bernoulli a la sección 3-4:

$$Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = Z_4 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g}$$

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = 2.5 + \left(\frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} \right) \quad (4.3.7)$$

Y por último aplicando la ecuación de Bernoulli a la sección 4-5:

$$Z_4 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} = Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2g}$$

$$\frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} = Z_5 - Z_4 = 5.5 - 2.5 = 3\text{m} \quad (4.3.8)$$

Sustituyendo (2.3.8) en (4.3.7)

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = 3 + 2,5 = 5,5 \text{ m} \quad (4.3.9)$$

como

$$h_l = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (4.3.10)$$

Donde: $L = L_{eq} + L_L$

$$L_{eq} = 5 \text{ codos} * 30 = 150 * 0,02664 = 3,996 \text{ m}$$

$$L_L = 2,5 + 10 + 5 + 3 = 20,5 \text{ m}$$

$$L = 20,5 + 3,996 = 24,5 \text{ m}$$

El No. de Re es

$$Re = \frac{VD_p}{\mu} = \frac{1,83 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0,02664 \text{ m} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}}{8,839 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{seg}}} = 5,5 \times 10^4$$

$\frac{e}{D} = 0,0017$ el mismo material y diámetro que en la alternativa uno,

De tablas de [14]: $f = 0,025$

Sustituyendo el valor de f y demás valores en la ecuación (4.3,10)

$$h_l = 0,025 * \frac{24,5 \text{ m}}{0,02664 \text{ m}} * \frac{1,83^2 \text{ m}^2/\text{seg}^2}{2 * 9,81 \text{ m}^2/\text{seg}^2} = 3,9 \text{ m} \quad (4,3,11)$$

Sustituyendo la expresión (3.4.11), (4.3.10) y (4.3.6) en (4.3.5)

$$\text{Pot} = 1000 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} * 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * \{5.5\text{m} - 2.5\text{m} + 3.9\text{m}\} = 6.96 \frac{\text{Kg}\cdot\text{m}}{\text{seg}}$$

$$\text{Pot} = 6.96 \frac{\text{Kgf} \cdot \text{m}}{\text{seg}} * \frac{9.81 \text{ nt}}{1 \text{ Kg}} = 68.3 \text{ watts}$$

$$\text{Pot} = 68.3 \text{ watts} * 0.00134102 = 0.10 \text{ HP}$$

$$\text{Pot} = 0.10 \text{ HP}$$

Considerando una eficiencia de la bomba de $\eta_b = 80\%$

$$\text{Pot} = 0.125 \text{ HP}$$

Por lo tanto la bomba que se usará será una de

$$\text{Pot} = 1/4 \text{ HP cuyo costo es de } \$ 12,500.00$$

Para determinar experimentalmente las cantidades aproximadas de cal - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y carbonato de sodio Na_2CO_3 que deben ser suministradas al agua, se realizó la prueba de jarras en el laboratorio. Esta prueba permite el estudio sobre la coagulación y floculación química. Los experimentos conducen a determinar, la dosis óptima de cal y carbonato de sodio, el PH óptimo para una mejor coagulación, la concentración del coagulante auxiliar y la mayor efectividad en los casos en que se les añade varios coagulantes.

El equipo usado en la prueba de jarras es un motor de velocidad variable. Una unidad típica consta de 6 agitadores mecánicos de paletas, las cuales giran a una velocidad que puede ser de 10 a 100 rpm.

El proceso general de la prueba de jarras se puede resumir en:

- i) Llenar 6 vasos de 1 o 2 litros de capacidad, con una cantidad medida del agua que va a ser tratada
- ii) Añadir el coagulante y/o otros productos químicos en cantidades diferentes a esta muestra
- iii) Mezclar rápidamente, por agitación, a una velocidad máxima de 100 rpm, durante un minuto
- iv) Estimular los flóculos de cada muestra a velocidad de 25 a 40 rpm, durante un tiempo de 20 a 30 minutos
- v) Parar la agitación y dejar que los floculos se precipiten de 60 a 90 minutos
- vi) Determinar la dureza del agua y evaluar el PH para cada muestra

Se realizaron cuatro pruebas, mismas que se mencionan a continuación:

Prueba N.1: Aquí se añadieron a todas las muestras 60 mg. Ca(OH)_2 y cantidades diferentes de Na_2CO_3 en orden creciente a cada vaso.

El equipo usado en la prueba de jarras es un motor de velocidad variable. Una unidad típica consta de 6 agitadores mecánicos de paletas, las cuales giran a una velocidad que puede ser de 10 a 100 rpm.

El proceso general de la prueba de jarras se puede resumir en:

- i) Llenar 6 vasos de 1 o 2 litros de capacidad, con una cantidad medida del agua que va a ser tratada
- ii) Añadir el coagulante y/o otros productos químicos en cantidades diferentes a esta muestra
- iii) Mezclar rápidamente, por agitación, a una velocidad máxima de 100 rpm, durante un minuto
- iv) Estimular los flóculos de cada muestra a velocidad de 25 a 40 rpm, durante un tiempo de 20 a 30 minutos
- v) Parar la agitación y dejar que los floculos se precipiten de 60 a 90 minutos
- vi) Determinar la dureza del agua y evaluar el PH para cada muestra

Se realizaron cuatro pruebas, mismas que se mencionan a continuación:

Prueba N.1: Aquí se añadieron a todas las muestras 60 mg, Ca(OH)_2 y cantidades diferentes de Na_2CO_3 en orden creciente a cada vaso.

| No. de vaso | CaI Ca(OH) ₂ | Carbonato de sodio Na ₂ CO ₃ | Dureza (mgCaCO ₃ /lH ₂ O) |
|-------------|----------------------------|---|--|
| 1 | 60 mg | 0 mg | 75.0 |
| 2 | 60 mg | 30 mg | 62.5 |
| 3 | 60 mg | 60 mg | 50.0 |
| 4 | 60 mg | 90 mg | 37.5 |
| 5 | 60 mg | 120 mg | 25.0 |
| 6 | 60 mg | 150 mg | 0 |

Prueba N.2: Se aumentó la dosis de Ca(OH)₂ a 80 mg, con las mismas cantidades de Na₂CO₃ para cada vaso.

| No. de vaso | CaI Ca(OH) ₂ | Carbonato de sodio Na ₂ CO ₃ | Dureza (mgCaCO ₃ /lH ₂ O) |
|-------------|----------------------------|---|--|
| 1 | 80 mg | 00.0 mg | 87.5 m |
| 2 | 80 mg | 30.0 mg | 50.0 |
| 3 | 80 mg | 60.0 mg | 43.75 |
| 4 | 80 mg | 90.0 mg | 37.5 |
| 5 | 80 mg | 120.0 mg | 12.5 |
| 6 | 80 mg | 150.0 mg | 0 |

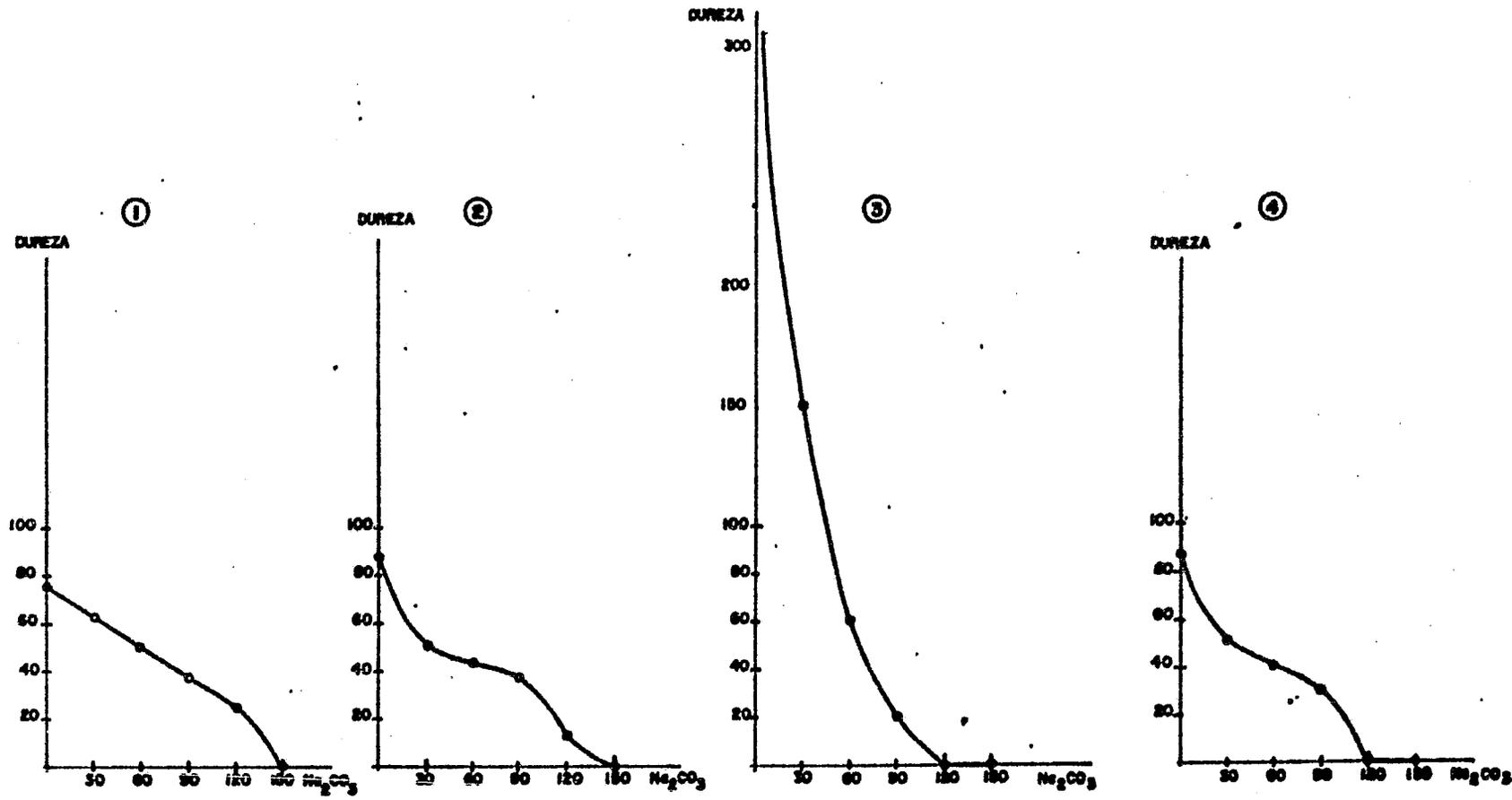
Prueba N.3: Ahora se le puso a cada vaso 100 mg de Ca(OH)₂ y las mismas cantidades de Na₂CO₃.

| No. de vaso | CaI Ca(OH)_2 | Carbonato de sodio Na_2CO_3 | Dureza ($\text{mgCaCO}_3/1\text{H}_2\text{O}$) |
|-------------|--------------------------|--|---|
| 1 | 100 mg | 00.0 mg | 375 |
| 2 | 100 mg | 30.0 mg | 150 |
| 3 | 100 mg | 60.0 mg | 60 |
| 4 | 100 mg | 90.0 mg | 20 |
| 5 | 100 mg | 120.0 mg | 0.0 |
| 6 | 100 mg | 150.0 mg | 0.0 |

Prueba N.4: Para éste análisis se añadió a cada vaso 120 mg de Ca(OH)_2 y cantidades iguales de Na_2CO_3 que las pruebas anteriores.

| No. de vaso | CaI Ca(OH)_2 | Carbonato de sodio Na_2CO_3 | Dureza ($\text{mgCaCO}_3/1\text{H}_2\text{O}$) |
|-------------|--------------------------|--|---|
| 1 | 120 mg | 00.0 mg | 87.5 |
| 2 | 120 mg | 30.0 mg | 50.0 |
| 3 | 120 mg | 60.0 mg | 40.0 |
| 4 | 120 mg | 90.0 mg | 30.0 |
| 5 | 120 mg | 120.0 mg | 0.0 |
| 6 | 120 mg | 150.0 mg | 0.0 |

Las gráficas correspondientes a cada prueba se muestran en la fig. 4.6



GRAFICA ① CURVA DE DISTRIBUCION DE DUREZA CON 60 mgr DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 GRAFICA ② CURVA DE DISTRIBUCION DE DUREZA CON 80 mgr DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 GRAFICA ③ CURVA DE DISTRIBUCION DE DUREZA CON 100 mgr DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 GRAFICA ④ CURVA DE DISTRIBUCION DE DUREZA CON 120 mgr DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$

De los resultados obtenidos se concluye que la dosis óptima es de 100 mg/l de Ca(OH)₂ y 120 mg/l de Na₂CO₃.

Puesto que el sistema necesita 6000 lt/día de agua tratada, tenemos que se requieren:

0.6 Kg Ca(OH)₂/día
y 0.72 Kg Na₂CO₃/día

Los costos a octubre de 1982 son:

| | |
|---------------------------------------|------------------|
| 1 Kg Ca (OH) ₂ | \$ 10.00 |
| 1 Kg Na ₂ Co ₃ | 100.00 |
| 2 Tanques de 3,000 l | 40,000.00 |
| m.o. (Construcción de los tanques) | 40,000.00 |
| 2 motovariadores de 0.5 HP | 430,000.00 |
| 8 paletas de acero inoxidable | 6,161.00 |
| 2 flechas de 3/4" de acero inoxidable | 7,065.00 |
| m.o. (maquinado paletas y eje) | 3,400.00 |
| 2 Filtros de arena | 87,000.00 |
| 1 Bomba de 1/4 HP | <u>12,500.00</u> |
| Costo total | \$ 626,236.00 |

4.4 Alternativa cuatro: Desmineralización

Consiste en el tratamiento del agua mediante un tren de desmineralización (fig. 4.4.1)

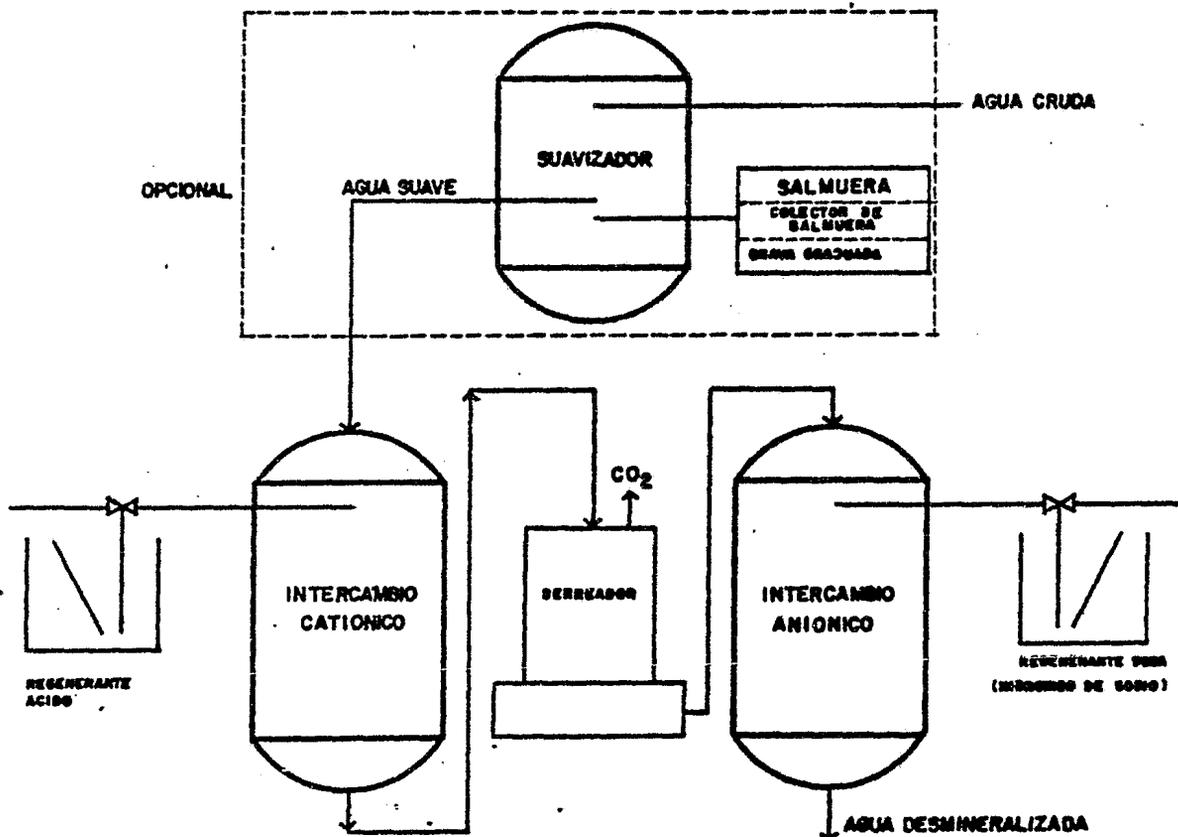


Fig. 4.4.1 Tren de desmineralización

Para el tren de desmineralización, las resinas seleccionadas son de acuerdo a las características que cada clase tienen por lo cual se usarán la IR-120 R & H (Polietilénica sulfonada) y la IRA - 402 (divinil bencénica).

Para la columna catiónica tenemos resina IR-120 R & H (Poliestirenica - sulfonada) {16}.

Para calcular el volumen de resina:

$$V_R = \frac{Q \cdot I \cdot t \cdot (0.0035)}{A_x}$$

Donde: Q = Gasto máximo de operación = 26, lpm = 7 gpm

I = Dureza en el agua cruda = 64 ppm

t = Tiempo de regeneración = 52 hrs

A_x = Capacidad de la resina = 29.3 $\frac{\text{K granos como CaCO}_3}{\text{pie}^3}$

V_R = Volumen de resina (pie³)

Sustituyendo valores en la ecuación anterior

$$V_R = \frac{7 * 64 * 52 * 0.0035}{29.3} = 2.783 \text{ (pie}^3\text{)}$$

Como las condiciones son las mismas que las de la alternativa dos tenemos que:

- . Diámetro del tanque = 40,64 cm
- . Profundidad del lecho = 68.617 cm
- . Altura del tanque = 120.1 cm
- . Volumen de resinas = 2.783 (pie³) = 78.81456 lt

La cantidad de regenerante necesario se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$R = VR * NR * N$$

Donde: N = Ciclos de regeneración = 1 ciclo / 14 días

$$NR = \text{Nivel de regeneración} = 15 \frac{\text{lbs HCL 30\%}}{\text{pie}^3} \text{ concentrado.}$$

La concentración del regenerante 10% HCL y 1-5% H₂SO₄

VR=Volumen de resina

Sustituyendo valores queda

$$R = 2.783 * 15 * \frac{1}{14} 2.982 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

$$R = 1.3555 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Como se regenera cada 14 días.

$$R = 1.3555 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * 14 \text{ días} = 18.977 \text{ Kg}$$

Para la columna aniónica, la resina seleccionada es AMBERLITE

IRA - 402 (divinil bencénica)

El volumen de resina se calcula con la ecuación, {16}.

$$VR = \frac{QIt (0.0035)}{Ax}$$

Donde: $Ax = 14.9 \left(\frac{K \text{ granos como } CaCO_3}{\text{pie}^3} \right)$

$$NR = 8 \left(\frac{\text{lb Na OH}}{\text{pie}^3} \right)$$

$$N = 1 \text{ ciclo/14 días}$$

$$Q = 7 \text{ gpm}$$

$$I = 64 \text{ mg/l como } CaCO_3$$

$$t = 52 \text{ hrs}$$

Sustituyendo datos en la ecuación anterior.

$$VR = \frac{7 * 64 * 52 * 0.0035}{14.9} = 5.4722 \text{ pie}^3 = 154.973 \text{ lt}$$

Considerando un flujo por área de $4 \frac{\text{gpm}}{\text{pie}^2}$ y con un gasto máximo de 7 gpm de la tabla N. 29 {16}, se obtiene el diámetro $\phi = 20 \text{ pulg} = 1.667$ (pies) cuya área es $1.98 \text{ (pie}^2)$, de modo que la profundidad del lecho será,

$$\text{Prof. lecho} = \frac{VR}{A}$$

$$\text{Prof. lecho} = \frac{5.4722}{1.98} = 2.764 \text{ pie}^2 = 84.24 \text{ cm}$$

Considerando un factor de expansión de 1,75%, la altura del estanque es:

$$h = (\text{Prof. lecho}) * (\text{Fact. exp})$$

$$h = 84.24 * 1.75 = 147.4 \text{ cm}$$

Resumiendo tenemos:

- . Diámetro del tanque = 20 plg = 50,8 cm
- . Profundidad del lecho = 84,24 cm
- . Altura del tanque = 147.4 cm
- . Volumen de resinas = 5,4722 pie³ = 154,973 lt

La cantidad de regenerante se calcula con la ecuación:

$$R = VR * NR * N$$

Donde: VR = 5.4722 pie³ volumen de resina

$$NR = \text{nivel de regeneración} = 8 \left(\frac{\text{lb NaOH}}{\text{pie}^3} \right)$$

$$N = \text{ciclos de regeneración} = 1 \text{ ciclo}/14 \text{ días}$$

Sustituyendo valores en la expresión anterior obtenemos

$$R = 5.4722 * 8 * 1/4 = 3,127 \frac{\text{Pb}}{\text{día}} = 1.421351 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

como se regenera cada 14 días

$$R = 1.421351 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * 14 \text{ días} = 19,899 \text{ Kg}$$

$$R = 19.899 \text{ Kg}$$

Al igual que en la alternativa dos el construir los tanques a partir de un diseño hecho a propósito es más cara que comprar un equipo de los que hay en el mercado adaptado a nuestras necesidades. Así fue que se seleccionó un equipo de la marca Tratasa modelo No. 20 D, fabricado por Ingeniería del Agua, S.A., que tiene las siguientes características:

| | | |
|---|--|---|
| . Diámetro del tanque | = 20 plg | = 50,8 cm |
| . Altura del tanque | = 96 plg | = 243,8 cm |
| . Presión de diseño | = 100 psi | = 7 Kg/cm ² |
| . Presión de trabajo | = 30-60 psi | = 2-4 Kg/cm ² |
| . Gasto máximo de operación | = 7 gpm | = 26 lpm |
| . Gastos por unidad de área | = 4.79 ($\frac{\text{gpm}}{\text{pie}^3}$) | = 195.3 ($\frac{\text{lpm}}{\text{m}^2}$) |
| . Resina catiónica IR-120 R&H (volumen) | = 3.5 pie ³ | = 99.0 lt |
| . Resina aniónica IRA-402 (volumen) | = 5,5 pie ³ | = 155.0 lt |
| . Precio de la resina | | \$ 1,200.00 |

El equipo para proteger las resinas de intercambio iónico del desmineralizador es un purificador de carbón activado de las siguientes características:

| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| . Diámetro | 16 plg = 40,64 cm |
| . Altura | 72 plg = 183,9 cm |
| . Carbón activado (volumen) | 79 lt = 2,8 pie ³ |

Para poder garantizar un contenido máximo de sólidos totales de 1 a 5 ppm en el agua desmineralizada se usa un suavizador modelo N. 165 marca - TRATASA con las características siguientes:

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| . Diámetro | 16 plg = 40,64 cm |
| . Altura | 60 plg = 152,4 cm |
| . Resina (volumen) IR-120 R&H | 79 lt = 2,8 pie ³ |

Este suavizador es igual a la de la alternativa dos.

Los costos a precios de octubre de 1982 son:

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| Desmineralizador | \$ 670,000.00 |
| Suavizador de intercambio iónico | 72,450.00 |
| Purificador de carbón activado | <u>183,700.00</u> |
| Costo total | <u>\$ 926,150.00</u> |

V. ANALISIS DE SENSIBILIDAD ECONOMICA

El análisis de sensibilidades es un proceso de aplicación de las técnicas económicas para determinar el conjunto de valores para los cuales está o no está justificada económicamente una alternativa de inversión.

5.1 Consideraciones

La metodología (planteada en el Apéndice) está limitada por las siguientes consideraciones:

- A) Para el efecto de este análisis se considera un horizonte de planeación de 12 años constituido por las siguientes tres etapas.
 - a) La etapa de construcción e instalación del equipo del proyecto tiene una duración de 1 año.

- b) La etapa de operación considerada es de 10 años, Esto se establece así porque la vida útil promedio de los equipos considerados en las alternativas tienen esa duración.
- c) La etapa de liquidación es de un año considerada sólo para efectos de la evaluación económica.
- B) La inversión por concepto de terrenos es igual a cero. Esto se debe a que la planta de tratamiento de agua es un subsistema de la planta generadora solar, y el costo del terreno no se cotiza en las diferentes alternativas, ya que dicho costo estará incluido en el costo total del terreno del sistema generador solar.
- C) No se incurre en inversiones diferidas.
- D) El costo por materia prima (agua) es cero.
- E) No se consideran ingresos, ya que el sistema generador es una instalación con propósitos de investigación, por lo cual para hacer el análisis de sensibilidades solamente se considera el costo de producción que es el precio en que se incurre para tratar 1 m³ de agua.
- F) Se usan dos métodos para comparar las alternativas de inversión y son:

. Método del valor actual neto (VAN)

$$VAN_{(62.02\%)} = \frac{\text{(Total de flujo neto actualizado)}}{\text{(inversión neta actualizada)}}$$

. Relación Beneficio costo (RBC)

$$RBC_{(62.02\%)} = \frac{\text{(Total de flujo neto actualizado)}}{\text{(Inversión neta actualizada)}}$$

5.2 Análisis de sensibilidad de las alternativas establecidas

5.2.1 Tabla de Inversiones fijas (miles de pesos)

| CONCEPTOS | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Costo de terreno | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 |
| Costo de maquinaria | 2,144.6 | 166.17 | 629.726 | 1,022.81 |
| - Equipo de tratamiento de agua | 1,995.3 | 72.45 | 503.626 | 926.15 |
| - Tubo galvanizado de $\beta=1$ pig | 61.1 | 31.02 | 32.900 | 31.96 |
| - Accesorios (válvulas, codos, y otros) | 25.0 | 12.00 | 30.000 | 14.00 |
| - Bomba de agua | 12.5 | | 12.500 | |
| - Equipo hidroneumático | 50.7 | 50.70 | 50.700 | 50.70 |
| | 2,144.6 | 166.17 | 629.726 | 1,022.81 |
| Construcciones civiles varias | 200.0 | 200.0 | 400.000 | 150.00 |
| Total de costos fijos | 2,344.6 | 366.17 | 1,029.726 | 1,172.81 |

5.2.2 Tabla de Inversiones diferidas (ver 5.1.7)

| CONCEPTOS (ANEXO) | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Total de Inversiones definidas | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 |

5.2.3 Tabla del capital de trabajo (miles de pesos)

| CONCEPTOS | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Costo de materia prima (agua) | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 |
| Mano de obra (operación) | 367.248 | 183.624 | 183.624 | 183.624 |
| Costo de energía eléctrica | 38.325 | 30.000 | 38.325 | 30.000 |
| Costo de papelería general | 0.200 | 00.200 | 0.200 | 0.200 |
| Costo de lubricantes, estopa y otros) | 5.000 | 5.000 | 5.11 | 5.000 |
| Total de capital de trabajo | 410.773 | 218.824 | 227.259 | 218.824 |

5.2.4 Características de financiamiento

Se usará la tasa correspondiente al primer bimestre de 1983, propuesta por el Banco Nacional de México que es una tasa igual a 62.02% anual flutuante para las cuatro alternativas.

5.2.5 Tabla de amortización y pago de intereses para la inversión fija (miles de pesos)

| AÑO | SALDO INICIAL | | | | AMORTIZACION DE CAPITAL | | | | GASTOS A CUBRIR POR EL AÑO (Intereses 62.028) | | | | PAGO TOTAL | | | |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
| 1 | 1,344.6 | 366.2 | 1,029.73 | 1,172.8 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 1,454.1 | 227.1 | 638.6 | 727.4 | 1,688.6 | 263.7 | 741.6 | 844.7 |
| 2 | 2,110.1 | 329.6 | 926.8 | 1,055.5 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 1,308.7 | 204.4 | 574.8 | 654.6 | 1,543.1 | 241.0 | 677.8 | 771.9 |
| 3 | 1,875.7 | 292.9 | 823.8 | 938.2 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 1,163.3 | 181.7 | 510.9 | 581.9 | 1,397.8 | 218.3 | 613.9 | 693.2 |
| 4 | 1,641.2 | 256.3 | 720.8 | 820.9 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 1,017.9 | 158.9 | 447.0 | 509.1 | 1,252.3 | 195.6 | 550.0 | 626.4 |
| 5 | 1,406.8 | 219.7 | 617.8 | 703.7 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 872.5 | 136.3 | 383.2 | 436.4 | 1,106.9 | 172.9 | 486.1 | 553.7 |
| 6 | 1,172.3 | 183.1 | 514.9 | 586.4 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 727.1 | 113.6 | 319.3 | 363.7 | 961.5 | 150.2 | 422.3 | 481.0 |
| 7 | 937.8 | 146.5 | 411.9 | 469.1 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 581.6 | 90.9 | 255.5 | 291.0 | 816.1 | 127.5 | 358.4 | 408.2 |
| 8 | 703.4 | 109.9 | 308.9 | 351.8 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 436.2 | 68.2 | 191.6 | 218.2 | 670.7 | 104.8 | 294.6 | 335.5 |
| 9 | 468.9 | 73.2 | 205.9 | 234.6 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 290.8 | 45.4 | 127.7 | 145.5 | 525.3 | 82.0 | 230.7 | 262.8 |
| 10 | 234.46 | 36.6 | 102.97 | 117.28 | 234.46 | 36.62 | 102.97 | 117.28 | 145.4 | 22.7 | 63.9 | 72.7 | 379.8 | 59.3 | 166.8 | 190.0 |

5.2.6 Tabla de amortización y pago de intereses de capital de trabajo (miles de pesos)

| AÑO | SALDO INICIAL | | | | AMORTIZACION DE CAPITAL | | | | GASTOS A CUBRIR POR EL AÑO (Intereses 62.028) | | | | PAGO TOTAL | | | |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
| 1 | 410.77 | 218.82 | 227.3 | 218.8 | 410.77 | 218.82 | 227.3 | 218.8 | 254.8 | 135.7 | 140.97 | 135.7 | 645.5 | 354.5 | 368.3 | 354.5 |

5.2.7 Presupuesto de Ingresos Egresos

Como ya se mencionó, se tiene la necesidad de tratar 6 m³ de agua diario, que genera un volumen anual de:

$$6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 30.4 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 2188.8 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

válido para las cuatro alternativas.

5.2.7.1 Tabla de presupuesto de Egresos (miles de pesos)

| CONCEPTOS | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Mano de obra | 367.248 | 183.624 | 183.624 | 163.624 |
| Depreciación (equipo) | 214.460 | 16.617 | 62.973 | 102.281 |
| Gastos fijos | 1,688.600 | 263.700 | 741.600 | 844.700 |
| Capital de trabajo | 665.500 | 354.500 | 368.300 | 354.500 |
| Total de egresos | 2,935.808 | 818.441 | 1,356.497 | 1,465.105 |

5.2.7.2 Presupuesto de Ingresos

Al inicio del capítulo, en el subcapítulo correspondiente a consideraciones (ver 5.1.8) se indica por que no existen ingresos, sin embargo si se tiene un programa de producción, cuyo precio se determina como: $\text{Pre. Prod} = \text{Total de egresos} / \text{volumen de agua tratada por año}$

| CONCEPTO | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Precio de Producción (\$/m ³) | 1,341.3 | 373.9 | 619.7 | 669.4 |

TABLA QUE MUESTRA EL PROGRAMA DE PRODUCCION A DETALLE

| C O N C E P T O S | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Precio de producción (\$/m ³) | 1,341,00 | 373.9 | 619.7 | 669,4 |
| Producción (m ³ /año) | 2,188.8 | 2,188,8 | 2,188,8 | 2,188.8 |
| Costo de producción (\$/año) | 2,935,808.0 | 818,441.0 | 1,356,497,0 | 1,465,100.0 |

Para i = 1 a 10

5.2.8 Tabla de resumen de gastos financieros (miles de pesos)

| AÑO | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1,708.9 | 362.8 | 779.6 | 863.1 |
| 2 | 1,308.7 | 204.4 | 574.8 | 654.6 |
| 3 | 1,163.3 | 181.7 | 510.9 | 581.4 |
| 4 | 1,017.9 | 158.9 | 447.0 | 509.1 |
| 5 | 872.5 | 136.3 | 383.2 | 436.4 |
| 6 | 727.1 | 113.6 | 319.3 | 363.7 |
| 7 | 581.6 | 90.9 | 255.5 | 291.0 |
| 8 | 436.2 | 68.2 | 191.6 | 218.2 |
| 9 | 290.8 | 45.4 | 127.7 | 145.5 |
| 10 | 145.4 | 22.7 | 63.9 | 72.7 |
| T | 8,252.4 | 1,384.9 | 3,653.5 | 4,136.2 |

5.2.9.1 Tabla de fuentes y usos del efectivo durante el horizonte del proyecto (miles de pesos)

ALTERNATIVA 1

| CONCEPTOS | AÑOS | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| FUENTES | | | | | | | | | | | | |
| Crédito refaccionario | 2,344.6 | | | | | | | | | | | |
| Crédito de avío | 410.8 | | | | | | | | | | | |
| Precio de producción anual | | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 |
| Saldo del año anterior (F - U) | | - | 645.2 | 1,690.6 | 2,881.4 | 4,217.6 | 5,699.2 | 7,326.2 | 9,098.7 | 11,016.6 | 13,079.0 | |
| Total de fuentes | 2,755.4 | 2,935.8 | 3,581.0 | 4,627.4 | 5,817.2 | 7,153.4 | 8,635.0 | 10,262.0 | 12,034.5 | 13,952.4 | 16,015.7 | |
| USOS | | | | | | | | | | | | |
| Inversión fija | 2,344.6 | | | | | | | | | | | |
| Capital de trabajo | 410.8 | | | | | | | | | | | |
| Mano de obra | | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 |
| Depreciación | | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 |
| Gastos financieros | | 1,708.9 | 1,308.7 | 1,163.3 | 1,017.9 | 872.5 | 727.1 | 581.6 | 436.2 | 290.8 | 145.4 | |
| Total de usos | 2,755.4 | 2,290.6 | 1,890.4 | 1,745.0 | 1,599.6 | 1,454.2 | 1,308.8 | 1,163.3 | 1,017.9 | 872.5 | 727.1 | |
| Saldo (fuentes-usos) | - | 635.2 | 1,690.6 | 2,881.4 | 4,217.6 | 5,699.2 | 7,326.2 | 9,098.7 | 11,016.6 | 13,079.9 | 15,288.6 | |

5.2.9.2 Tabla de fuentes y usos del efectivo durante el horizonte del proyecto (miles de pesos)

ALTERNATIVA 2

| CONCEPTOS | AÑOS | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| FUENTES | | | | | | | | | | | | |
| Cfdito refaccionario | 366.2 | | | | | | | | | | | |
| Crédito de avío | 218.8 | | | | | | | | | | | |
| Precio de producción | | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | |
| Saldo del año anterior (F-U) | | - | 255.4 | 669.2 | 1,105.7 | 1,565.0 | 2,046.9 | 2,551.5 | 3,078.8 | 3,628.8 | 4,201.6 | |
| Total de fuentes | 585.0 | 818.4 | 1,073.8 | 1,487.6 | 1,924.1 | 2,383.4 | 2,865.3 | 3,369.9 | 3,897.2 | 4,447.2 | 5,020.0 | |
| USOS | | | | | | | | | | | | |
| Inversión fija | 366.2 | | | | | | | | | | | |
| Capital de trabajo | 218.8 | | | | | | | | | | | |
| Mano de obra | | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | |
| Depreciación | | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | |
| Gastos financieros | | 362.8 | 204.4 | 181.7 | 158.9 | 136.9 | 113.6 | 90.0 | 68.2 | 45.4 | 22.7 | |
| Total de usos | 585.0 | 563.0 | 404.6 | 381.9 | 359.1 | 336.5 | 313.8 | 291.1 | 268.4 | 245.6 | 222.9 | |
| Saldo (fuentes-usos) | - | 255.4 | 669.2 | 1,105.7 | 1,565.0 | 2,046.9 | 2,551.5 | 3,078.8 | 3,628.8 | 4,201.6 | 4,797.1 | |

5.2.9.3 Tabla de fuentes y usos efectivo durante el horizonte del proyecto (miles de pesos)

ALTERNATIVA 3

| CONCEPTOS | AÑOS | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| FUENTES | | | | | | | | | | | | |
| Crédito refaccionario | 1,029.7 | | | | | | | | | | | |
| Crédito de avío | 227.3 | | | | | | | | | | | |
| Precio de producción | | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | |
| Saldo del año anterior (F - U) | | | 330.3 | 865.4 | 1,464.4 | 2,127.3 | 2,854.0 | 3,644.6 | 4,499.0 | 5,417.3 | 6,399.5 | |
| Total de fuentes | 1,257.0 | 1,356.5 | 1,686.8 | 2,221.9 | 2,820.9 | 3,483.8 | 4,210.5 | 5,001.1 | 5,855.5 | 6,773.8 | 7,756.0 | |
| USOS | | | | | | | | | | | | |
| inversión fija | 1,029.7 | | | | | | | | | | | |
| Capital de trabajo | 227.3 | | | | | | | | | | | |
| Mano de obra | | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | |
| Depreciación | | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | |
| Gastos financieros | | 779.6 | 574.8 | 510.9 | 447.0 | 383.2 | 319.3 | 255.5 | 191.6 | 127.7 | 63.9 | |
| Total de usos | 1,257.0 | 1,026.2 | 821.4 | 757.5 | 693.6 | 629.8 | 656.9 | 502.1 | 438.2 | 274.3 | 310.5 | |
| Saldo (fuentes-usos) | - | 330.3 | 865.4 | 1,464.4 | 2,127.3 | 2,854.0 | 3,644.6 | 4,499.0 | 5,417.3 | 6,399.5 | 7,445.5 | |

5.2.9.4 Tabla de fuentes y usos del efectivo durante el horizonte del proyecto (miles de pesos)

ALTERNATIVA A

| CONCEPTOS | AÑOS | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| FUENTES | | | | | | | | | | | | |
| Crédito refaccionario | 1,172.8 | | | | | | | | | | | |
| Crédito de avío | 218.8 | | | | | | | | | | | |
| Precio de producción | | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | |
| Saldo del año anterior (F - U) | | - | 336.1 | 880.7 | 1,498.0 | 2,188.1 | 2,950.9 | 3,786.4 | 4,694.6 | 5,679.6 | 6,729.3 | |
| Total de fuentes | 1,391.6 | 1,465.1 | 1,801.2 | 2,345.8 | 2,963.1 | 2,653.2 | 4,416.0 | 5,251.5 | 6,159.7 | 7,140.7 | 8,194.4 | |
| USOS | | | | | | | | | | | | |
| Inversión fija | 1,172.8 | | | | | | | | | | | |
| Capital de trabajo | 218.8 | | | | | | | | | | | |
| Mano de obra | | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | |
| Depreciación | | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | |
| Gastos financieros | | 863.1 | 654.6 | 581.9 | 509.1 | 436.4 | 363.7 | 291.0 | 218.2 | 145.5 | 72.7 | |
| Total de usos | 1,391.6 | 1,129.0 | 920.5 | 847.8 | 775.0 | 702.3 | 629.6 | 556.9 | 484.1 | 411.4 | 338.6 | |
| Saldo (fuentes-usos) | - | 336.1 | 880.7 | 1,498.0 | 2,188.1 | 2,950.9 | 3,786.4 | 4,694.6 | 5,679.6 | 6,729.3 | 7,855.8 | |

5.2.10.1 Tabla de estado de resultados económicos del proyecto para producción de agua bidestilada durante los años 1 al 10. (miles de pesos)

ALTERNATIVA 1

| CONCEPTOS | AÑOS | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Precios de producción anual | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 | 2,935.8 |
| Costos y Gastos | 2,290.6 | 1,890.4 | 1,745.0 | 1,599.6 | 1,454.2 | 1,308.8 | 1,163.3 | 1,017.9 | 872.5 | 727.1 |
| - Mano de obra | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 | 367.2 |
| - Depreciación | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 | 214.5 |
| - Gastos financieros | 1,708.9 | 1,308.7 | 1,163.3 | 1,017.9 | 872.5 | 727.1 | 581.6 | 436.6 | 290.8 | 145.4 |
| Utilidad neta | 645.2 | 1,045.4 | 1,190.8 | 1,336.2 | 1,481.6 | 1,627.0 | 1,771.5 | 1,917.9 | 2,063.3 | 2,208.7 |
| FLUJO NETO DE EFECTIVO (Utilidad neta + Gastos financieros + Depreciación) | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 | 2,568.6 |

5.2.10.2 Tabla de estados de resultados económicos del proyecto para producir agua suave durante los años 1 al 10 (miles de pesos)

ALTERNATIVA 2

| Conceptos | A N O S | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Precio de producción | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 | 818.4 |
| Costos y Gastos | 563.0 | 404.6 | 381.9 | 359.1 | 336.5 | 313.8 | 291.1 | 268.4 | 245.6 | 222.9 |
| - Mano de obra | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 |
| - Depreciación | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 | 16.6 |
| - Gastos financieros | 362.8 | 204.4 | 181.7 | 158.9 | 136.3 | 113.6 | 90.0 | 68.2 | 45.4 | 22.7 |
| Utilidad neta | 255.4 | 413.8 | 436.5 | 459.3 | 481.9 | 504.6 | 527.3 | 550.0 | 572.8 | 595.5 |
| FLUJO NETO DE EFECTIVO (Utilidad neta + Gastos financieros + Depreciación) | 634.8 |

5.2.10.3 Tabla de estado de resultados económicos del proyecto para producción de agua suave durante los años 1 al 10 (miles de pesos)

ALTERNATIVA 3

| CONCEPTOS | AÑOS | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Precio de producción | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 | 1,356.5 |
| Costos y Gastos | 1,026.2 | 821.4 | 757.5 | 693.6 | 629.8 | 565.9 | 502.1 | 438.2 | 374.3 | 310.5 |
| - Mano de obra | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 | 183.6 |
| - Depreciación | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.0 |
| - Gastos financieros | 779.6 | 574.8 | 510.9 | 447.0 | 383.2 | 319.3 | 255.5 | 191.6 | 127.7 | 63.9 |
| Utilidad neta | 330.3 | 535.1 | 599.0 | 662.9 | 726.7 | 790.6 | 854.4 | 918.3 | 982.2 | 1,046.0 |
| FLUJO NETO DE EFECTIVO (Utilidad neta + Gastos financieros + Depreciación) | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 | 1,172.9 |

5.2.10.4 Tabla de estado de resultados económicos del proyecto para producir agua desmineralizada durante los años 1 al 10 (miles de pesos)

ALTERNATIVA 4

| CONCEPTOS | AÑOS | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Precio de producción | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 | 1,465.1 |
| Costos y Gastos | 1,129.0 | 920.5 | 847.8 | 775.0 | 702.3 | 629.6 | 556.9 | 484.1 | 411.4 | 338.6 |
| - Mano de obra | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 | 163.6 |
| - Depreciación | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 | 102.3 |
| - Gastos financieros | 863.1 | 654.6 | 581.9 | 509.1 | 436.4 | 363.7 | 291.0 | 218.2 | 145.5 | 72.7 |
| Utilidad neta | 336.1 | 544.6 | 617.3 | 690.1 | 762.8 | 835.5 | 908.2 | 981.0 | 1,053.7 | 1,126.5 |
| FLUJO NETO DE EFECTIVO (Utilidad neta + Gastos financieros + Depreciación) | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 | 1,301.5 |

5.2.11.1 Tabla de actualización del flujo neto de efectivo (miles de pesos)

ALTERNATIVA No. 1

| AÑO | INVERSIONES | FLUJO NETO DE EFECTIVO | FLUJO NETO AJUSTADO | FACTOR DE ACTUALIZACION | FLUJO NETO ACTUALIZADO |
|-----|-------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 2,755.4 | - - | 2,755.4 | 1.00 | 2,755.4 |
| 2 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.61721 | 1,585.4 |
| 3 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.38095 | 978.5 |
| 4 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.23512 | 603.9 |
| 5 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.14512 | 372.7 |
| 6 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.08957 | 230.1 |
| 7 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.05528 | 142.0 |
| 8 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.03412 | 87.6 |
| 9 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.02106 | 54.1 |
| 10 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.01299 | 33.9 |
| 11 | | 2,568.6 | 2,568.6 | 0.00802 | 20.6 |

$\Sigma_T = 4,108.3$

5.2.11.2 Tabla de actualización del flujo neto de efectivo (miles de pesos)

ALTERNATIVA No. 2

| AÑO | INVERSIONES | FLUJO NETO DE EFECTIVO | FLUJO NETO AJUSTADO | FACTOR DE ACTUALIZACION | FLUJO NETO ACTUALIZADO |
|-----|-------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 585.0 | - - | 585.0 | 1.0 | 585.0 |
| 2 | | 634.8 | 634.8 | 0.61721 | 391.8 |
| 3 | | 634.8 | 634.8 | 0.38095 | 241.8 |
| 4 | | 634.8 | 634.8 | 0.23512 | 149.3 |
| 5 | | 634.8 | 634.8 | 0.14512 | 92.1 |
| 6 | | 634.8 | 634.8 | 0.08957 | 56.9 |
| 7 | | 634.8 | 634.8 | 0.05528 | 35.1 |
| 8 | | 634.8 | 634.8 | 0.03412 | 21.7 |
| 9 | | 634.8 | 634.8 | 0.02106 | 13.4 |
| 10 | | 634.8 | 634.8 | 0.01299 | 8.2 |
| 11 | | 634.8 | 634.8 | 0.00802 | 5.1 |

$\Sigma_T=1,015.4$

5.2.11.3 Tabla de actualización del flujo neto de efectivo (miles de pesos)

ALTERNATIVA No. 3

| AÑO | INVERSIONES | FLUJO NETO DE EFECTIVO | FLUJO NETO AJUSTADO | FACTOR DE ACTUALIZACION | FLUJO NETO ACTUALIZADO |
|-----|-------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 1,257.03 | - - | 1,257.03 | 1.00 | 1,257.03 |
| 2 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.61721 | 723.9 |
| 3 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.38095 | 446.8 |
| 4 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.23512 | 275.8 |
| 5 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.14512 | 170.2 |
| 6 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.08957 | 105.1 |
| 7 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.05528 | 64.8 |
| 8 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.03412 | 40.0 |
| 9 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.02106 | 24.7 |
| 10 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.01299 | 15.2 |
| 11 | | 1,172.9 | 1,172.9 | 0.00802 | 9.4 |

$\Sigma_T = 1,875.96$

5.2.11.4 Tabla de actualización del flujo neto de efectivo (miles de pesos)

ALTERNATIVA No. 4

| AÑO | INVERSIONES | FLUJO NETO DE EFECTIVO | FLUJO NETO AJUSTADO | FACTOR DE ACTUALIZACION | FLUJO NETO ACTUALIZADO |
|-----|-------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 1,391.6 | - | 1,391.6 | 1.00 | 1,391.6 |
| 2 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.61721 | 803.3 |
| 3 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.38095 | 495.8 |
| 4 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.23512 | 306.01 |
| 5 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.14512 | 188.9 |
| 6 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.08957 | 116.6 |
| 7 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.05528 | 71.9 |
| 8 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.03412 | 44.4 |
| 9 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.02106 | 27.4 |
| 10 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.01299 | 16.9 |
| 11 | | 1,301.5 | 1,301.5 | 0.00802 | 10.4 |

$\Sigma_T = 2,081.61$

5.2.12 Evaluación económica de las alternativas establecidas (miles de pesos)

| C O N C E P T O S | ALTERNATIVA No. 1 | ALTERNATIVA No. 2 | ALTERNATIVA No. 3 | ALTERNATIVA No. 4 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Inversión neta actualizada | 2,755.4 | 585.0 | 1,257.03 | 1,391.60 |
| Flujo neto actualizado (Total) | 4,108.3 | 1,015.4 | 1,875.96 | 2,081.61 |
| Valor actual neto (VAN _(62-02%)) | 1,352.9 | 430.4 | 618.90 | 690.00 |
| Relación beneficio costo (RBC _(62-02%)) | 1.5 | 1.7 | 1.5 | 1.5 |

5.3 Elección de la mejor alternativa

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla del inciso anterior, obtenidos de la evaluación económica, se hace la elección de la mejor alternativa y esta decisión, para este caso particular, se basa en criterios técnicos y económicos. Como se puede apreciar en la tabla 5.4, la alternativa 2 es la mejor opción con base en el factor económico; sin embargo esta opción presenta deficiencias técnicas, ya que el agua tratada de esa manera ocasiona problemas de corrosión en el interior del evaporador.

Las alternativas restantes tienen una "RBC" igual pero diferentes "VAN" por lo cual, si se comparan las alternativas 1 y 3 con respecto al "VAN" que cada una tiene, se tendría que rechazar la alternativa 3 porque tiene una "VAN" menor. Sin embargo la alternativa 1 necesita de una inversión inicial de casi cuatro veces más que la alternativa 3, y como uno de los criterios de selección es el factor económico, entonces se rechaza la alternativa 1 y se acepta la alternativa 3. Ahora, si se comparan las alternativas 3 y 4 se observa que la alternativa 3 tiene una "VAN" menor que la 4 5.2.12 ; sin embargo a pesar de que esta última necesita una inversión ligeramente mayor el concepto de beneficios es mayor en la alternativa 4, por lo que para este caso particular y con base en las restricciones del proyecto ya mencionadas, el sistema de tratamiento de agua que más conviene es el presentado como alternativa 4 y corresponde a un tren de desmineralización.

VI. CONCLUSIONES

6.1 La opción uno: Destilación

Tratar el agua por un proceso de destilación solar será una opción inmejorable para plantas localizadas en sitios semi desérticos, en donde se tiene la disponibilidad de luz solar durante la mayoría de los días en el año, así como grandes superficies de terreno, sin embargo a pesar de que se necesita una inversión inicial más elevada que las de más opciones, también se tiene una recuperación de capital en un período de tiempo muy corto como se puede apreciar en la tabla 5.2.11.1, que muestra el flujo neto de efectivo.

6.2 La opción dos: Suavizador

Del análisis de sensibilidades (cap. VI) se concluye que económicamente ésta opción es rentable, pues es la que más baja inversión tiene, técnicamente tiene un inconveniente pues el agua tratada por este medio causa corrosión en los tubos de las calderas, de modo que para evitar estos problemas la opción dos deberá ser usada en combinación con algún otro proceso de tratamiento de agua.

6.3 La opción tres: Ablandamiento

Esta opción es un proceso de ablandamiento de agua con cal-carbonato de sodio, al igual que las demás opciones esta también tiene beneficios según el análisis de sensibilidades, sin embargo este proceso solamente reduce la dureza del agua pero no la elimina, razón por la cual al evaporarse en las calderas ocasiona incrustaciones en los tubos de éstas, al igual que la opción dos, se deberá usar en combinación con otro proceso y además se necesitarán dosificadores de reactivos químicos y dependiendo si son dosificadores líquidos o sólidos será proporcional el aumento del costo de mantenimiento.

6.4 La opción cuatro: Desmineralización

Económicamente da un margen de seguridad mayor que las otras tres opciones tomando en cuenta que su inversión inicial es casi igual a la opción tres, técnicamente también es superior pues el agua que se obtiene a través de

esta opción, tiene una calidad adecuada, la dureza es eliminada y los sólidos totales en el agua son reducidos al mínimo además de que los costos de operación y mantenimiento son reducidos.

Con base en los resultados de las conclusiones, para este caso particular y debido a que presenta mayores ventajas técnicas, se recomienda la opción cuatro, que consiste en un proceso de tratamiento de agua a través de un tren de desmineralización, que como se puede apreciar en el capítulo anterior su inversión inicial no es elevada si no más bien moderada y proporciona el agua con las características que el proceso necesita.

APENDICE

Metodología del análisis de sensibilidades económicas.

1. Se establecen las distintas inversiones que generalmente son:

1.1 Inversiones fijas, constituidas principalmente por:

- . Costo de terreno
- . Costo de maquinaria
- . Costo de las construcciones civiles

1.2 Inversiones diferidas, están integradas por todos los costos preoperativos:

- . Costo de ingeniería de diseño (incluye, estudios y cálculo, dibujo y materiales de trabajo)
- . Costo de procesos jurídicos (permisos, subsidios, etc)
- . Sueldo del personal administrativo durante el período previo a la operación
- . Costo de obras provisionales (comedór, dormitorios, caminos, etc.)

1.3 Capital de trabajo

El concepto se adquiere para operar el primer año, pues durante este tiempo no se tendrán ingresos, si no hasta el final del primer período de operación, que será cuando la empresa esté en disposición de efectuar la primera venta del producto y percibir ingresos para la operación del siguiente período. El capital de trabajo será función de:

- . Costos de materia prima
- . Salario del personal de operación
- . Costo de energía eléctrica
- . Costo de materiales auxiliares (papelería, etc.)
- . Costo de lubricantes

2. Se definen las características de financiamiento

2.1. Necesidades de funcionamiento

Estas condiciones se fijan de acuerdo al total de inversiones calculadas en el inciso anterior; sujeta desde luego a los imponderables que el inversionista contemple (por ejemplo se puede dar el caso que el inversionista tenga un capital y solamente necesite un financiamiento de la mitad del total de las inversiones, otro caso sería que el proyecto esté subsidiado, etc.). Las fuentes de financiamiento pueden ser los diferentes bancos de ahorro, empresas privadas o instituciones públicas.

2.2 Condiciones de crédito

Implica estipular la tasa o tasas de interés, bajo las cuales se efectuará el financiamiento. (La tasa, para el primer bimestre de 1983 en el Banco Nacional de México fué de 62.02%).

2.3 Tipo de crédito

Generalmente se trabaja con dos tipos de crédito: el crédito refaccionario, otorgado a mediano y largo plazo y el crédito de avío que corresponde al monto del capital de trabajo y que por decreto oficial solamente es otorgado por un período de un año.

3. Se hace una tabla que define la amortización y pago de intereses para la inversión fija. Este listado proporciona información sobre la amortización anual de capital y pagos totales a efectuarse cada año.

4. Se hace una tabla de amortización y pago de interés para el capital de trabajo con el objeto de visualizar los intereses que causará este capital en un año.

5. Se establece un presupuesto de ingresos egresos

5.1 Ingresos

Son beneficios que la empresa percibe por la venta de un producto, estos ingresos se obtienen con el apoyo del programa de producción de la empresa.

5.2 Egresos

Son erogaciones que hace la empresa causados principalmente por:

- . Mano de obra
- . Depreciación
- . Gastos fijos
- . Capital de trabajo

6. Se hace una tabla resumiendo los gastos financieros

Esta tabla nos refleja los intereses causados por los diferentes montos de financiamiento en cada año del período de operación.

7. Con apoyo en la tabla hecha en el inciso anterior, se desarrolla un cuadro de fuentes y usos del efectivo durante el horizonte del proyecto.
8. Se hace una tabla correspondiente al estado de resultados económicos del proyecto, en la cual se podrá apreciar una utilidad neta de cada año así como el flujo neto de efectivo.
9. Con el flujo neto de efectivo calculado en el inciso anterior, se elabora una tabla de actualización del flujo neto de efectivo.
10. Por último se hace la comparación de alternativas de inversión a través de cualquiera de los métodos que para tal efecto existen.

BIBLIOGRAFIA

- {1} R. Almanza y L. Palacios "Sistema Generador Solar Informe de actividades realizadas de Julio de 1980 a enero de 1981, Volumen II. Subsistema Solar" Informe interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, enero de 1981

- {2} R. Almanza y L. Palacios "Sistema Generador Solar Informe de actividades realizadas de Julio de 1981 a enero de 1982, Volumen I. Subsistema Solar" Informe interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, enero de 1982

- {3} R. Almanza, E. Montes y A. Valdés, "Sistema Generador Solar-Informe de actividades realizadas en el primer semestre de 1980 - Subsistema Solar - Mecanismo Seguidor - Estructuras y Envolvente" Informe interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio de 1980

- {4} J.L. Fernández, et al. "Sistema Generador Solar - Informe de actividades realizadas de enero a agosto de 1980 - Subsistema Termodinámico" Informe interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, agosto de 1980

- {5} J.L. Fernández, et al. "Sistema Generador Solar. Informe de actividades realizadas en 1979. Volumen II. Subsistema Termodinámico" Informe interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, enero de 1980

- {6} R.H. Perry and C.H. Chilton "Chemical Engineers' Handbook" Mc Graw-Hill Book Company, New York. (1973), cap, 9,40
- {7} Angel Vian y Joaquín Acón, "Elementos de Ingeniería Química" colección ciencia y técnica, Edit. Aguilar, Madrid (1976), cap, 8
- {8} Secretaría de educación Pública "Manual de control de Aguas en Calderas", Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, septiembre de 1981
- {9} R. Rioja J. et al, "Corrosión de materiales empleados en condensadores que utilizan agua de mar": Boletín IIE, 6, 280 (1982)
- {10} BETZ "Handbook of Industrial Water Conditioning", Betz Trevese, Pennsylvania. U.S.A. (1976), chaps. 4 at 12
- {11} American Public Health Association; American Water Works Association Water Pollution Control Federation "Métodos Estándares para el examen de Agua y Aguas de desecho Editorial Interamericana, S.A., México, 1963
- {12} J.R. Albarrán y R.H. Manzano "Manual de Análisis Físico Químicos Básicos para la operación de Plantas de Tratamiento de Aguas residuales" Informe interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio de 1982

- {13} A.S. Pérez C, "Diseño de un destilador solar para potabilizar el agua" Tesis profesional ESQ(E, IPN, México 1971
- {14} The Engineering Division "Flow of Fluids through, valves, fittings and pipe" Crane CO. New York
- {15} Facultad de Química, División de Estudios Profesionales área de Ingeniería, "Manual para cálculo de flujo de fluidos", UNAM, México
- {16} Olivares de la chica Lydia "Criterios generales para el diseño de equipo de tratamiento de agua" Tesis profesional, Fac. de Química, UNAM, México D.F. 1982
- {17} G. Granger Brown, et al, "Operaciones básicas de la Ingeniería Química". Editorial Marín, S.A. Barcelona 1965