

T-106



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**TRATAMIENTO DE AGUA SALOBRE POR EL
METODO DE OSMOSIS INVERSA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A
DARINEL NAVARRO OCHOA
MEXICO, D. F. 1979



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.

"TRATAMIENTO DE AGUA SALOBRE POR EL METODO DE OSMOSIS INVERSA"

CAPITULO	CONCEPTO
I	INTRODUCCION
II	PROCESOS DE DESALACION
2.1	Procesos Térmicos
2.2	Procesos Eléctricos
2.3	Procesos Químicos
2.4	Procesos Mecánicos
III	DESALACION POR OSMOSIS INVERSA
3.1	Determinación de factores para la instalación de una Planta Desaladora
3.2	Antecedentes y terminología
3.3	Descripción de proceso y membrana
3.4	Pretratamiento
3.5	Equipo y diagrama de flujo
3.6	Mantenimiento del equipo y recomendaciones
IV	COSTO DEL METRO CUBICO DE AGUA PRODUCTO
4.1	Cálculo del costo del metro cúbico de agua producto para Osmosis Inversa
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO I.- INTRODUCCION.

En México, la distribución hidráulica es totalmente desequilibrada: el sureste con el 8% de la población nacional, cuenta con el 40% de disponibilidad hidráulica; mientras que el altiplano y zona norte de México con 60% de esa población, tenga solamente el 12% de disponibilidad. Debido a esa desproporcionabilidad de los recursos hidráulicos, el Gobierno Federal, trata de equilibrarlos, por medio del abastecimiento de agua potable, con cualquier sistema conocido.

Hace 16 años, la preocupación de pequeños grupos de Funcionarios, Investigadores e Ingenieros dispersados por todo el mundo, en encontrar nuevos métodos para movilizar los recursos de agua salada en beneficio del hombre, solo encontraban un divertido interés intelectual; hoy día, el incremento mundial de Plantas Desaladoras en todos los procesos es de 27.6%. En México el incremento anual es de 18%.

La Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas (DIGAAS), tiene el encargo de abastecer conjuntamente con los Gobiernos Estatales y Población en general, agua de buena calidad a partir de las aguas salinas y salobres. La instalación de una Planta Desaladora, está en función de la dotación requerida, de los caracteres Físico-Químicos del agua y de la disponibilidad económica.

Esta tesis se aboca solamente a la desalación por Osmosis Inversa, debido a la facilidad de Operación y Mantenimiento y a su bajo costo en cuanto a construcción y obtención de agua producto; partiendo siempre de las aguas salobres.

CAPITULO II.- PROCESOS DE DESALACION.

2.1.- PROCESO TERMICOS.

Este proceso se caracteriza por los cambios de fases sucesivas; donde el agua salada se transforma en vapor de agua y este a la vez condensado mediante la aplicación de energía térmica.

2.1.1.- Evaporación Solar.

Consiste en la utilización de la energía producida por los rayos solares. La transformación de la energía radiante en energía térmica puede realizarse por medio de unos dispositivos llamados colectores, destiladores o "charolas". Estos colectores están formados por "charolas" de fibra de vidrio, pintadas de negro en su interior y cubiertas con tapas de vidrio de una o dos pendientes. La figura #1 representa un destilador de doble pendiente.

El proceso se realiza de la siguiente manera: El agua de mar es introducida a estas "charolas" y al recibir la energía de los rayos solares, una parte del agua se evapora condensándose en la cubierta de vidrio, ya que generalmente ésta se encuentra a menor temperatura que el agua de mar. El agua acumulada en el cristal en forma de delgada capa, escurre a unos canales colectores, que a su vez estos descargan a unos tubos de recolección final.

Debido a su poca capacidad agua-producto, el proceso resulta aceptable para casos individuales, familiar o pequeños conglomerados y en lugares donde los energéticos son escasos, al

medio ambiente soleado y poca comunicación.

Este proceso ha tenido poca utilidad debido a su mantenimiento; pero cuando es operado por los consumidores el sistema baja en su costo unitario.

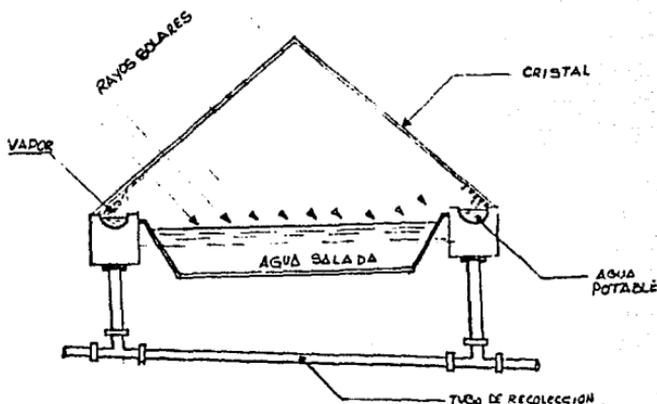


FIGURA # 1

DESTILADOR SOLAR

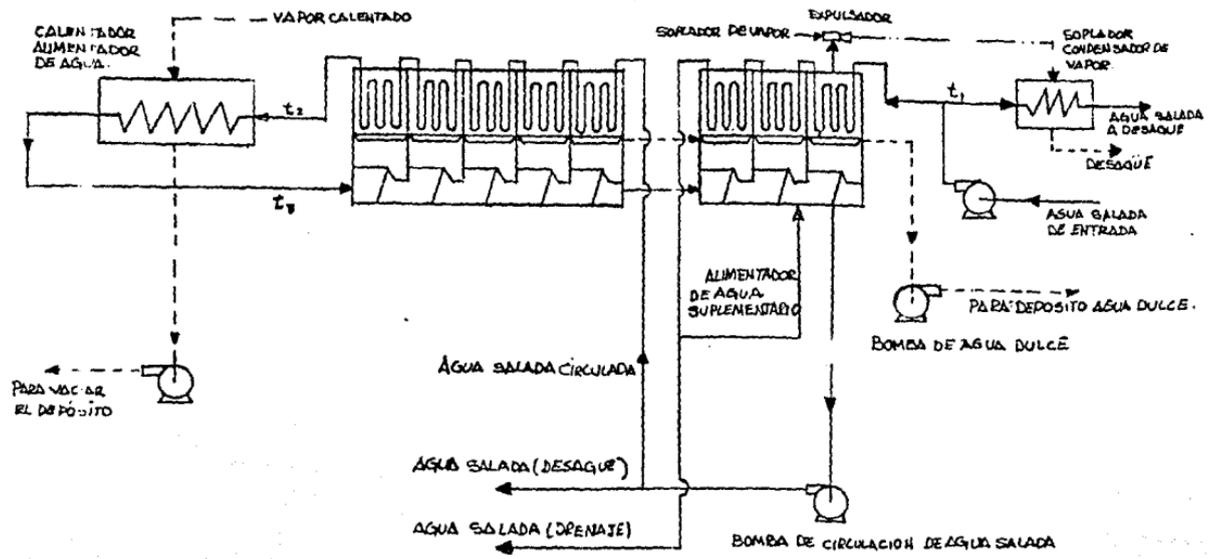
2.1.1.- Evaporación Instantánea o "Flash".

La evaporación se produce en un recinto separado de donde se origina el calentamiento; caracterizándose por la ausencia de superficie de intercambio de calor en el líquido que hay que evaporar. El calor latente de evaporación es suministrado por la energía interna del agua salada. No existe ebullición a temperatura constante; pero si extracción de vapor a presión constante de un líquido que se enfría a medida que se evapora.

En cada tramo la masa de agua total sometida a la evaporación debe, en consecuencia, ser removida por el agua de precalentamiento proveniente de la caldera inicial a una temperatura más elevada.

El proceso por evaporación instantanea puede describirse de la siguiente manera: Antes que el aguade mar sea - - - conducida a través del equipo, se trata químicamente contra la dureza ocasionada por carbonatos. El agua tratada, se introduce en unos tubos que atraviesan una serie de cámaras evaporantes, - hasta llegar a la última cámara de donde empieza la circulación; el agua en conducción, pasa en seguida por un calentador de - - salmuera donde eleva la temperatura, para poder entrar a la primera etapa de evaporación. La presión disminuye en comparación - con la de equilibrio, permaneciendo la temperatura constante; el líquido no evaporado pasa a la siguiente etapa con temperatura - menor de la anterior etapa, hasta llegar a la última etapa, evaporando y enfriando, saliendo con una temperatura de 30° C.

La condensación del vapor producido se origina en - - cada cámara a consecuencia de la transmisión del calor latente - ocasionado por el agua caliente que circula en los tubos. La recolección de las gotas de agua destilada que se formaron a consecuencia de la condensación, se efectua en charolas conectadas - - entre si, localizadas abajo de los tubos. La extracción final se lleva a cabo por etapa más fría. El diagrama del proceso se - - - representa en la fig. #2.



EVAPORACION INSTANTANEA

Fig. # 2

2.1.3.- Evaporación en Múltiples efectos.

Este proceso tiene similitud con el anterior; pero — con la diferencia de que el vapor producido en cada cámara, no — se condensa en ella misma, sino en la siguiente de menor temperatura, donde es utilizado ese vapor como vapor de calentamiento. El agua de mar alimentada se calienta por medio de precalentada res.

Dentro de éste proceso, existen dos maneras de representar el equipo; uno, con tubos Horizontales y otro con tubos — Verticales.

a).- Tubos Sumergidos u Horizontales.

Su principio de evaporación consiste como se observa en la figura No.3, en pasar vapor por el interior de los tubos — de evaporación y vaporizando el agua salada como un medio para — lograr el intercambio de calor. El vapor que circula en los tubos, es enfriado con agua salada, transformandolo en gotas de agua — destilada.

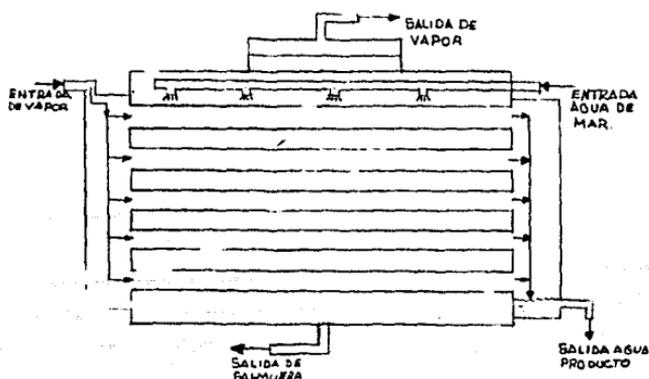


FIG. # 3.

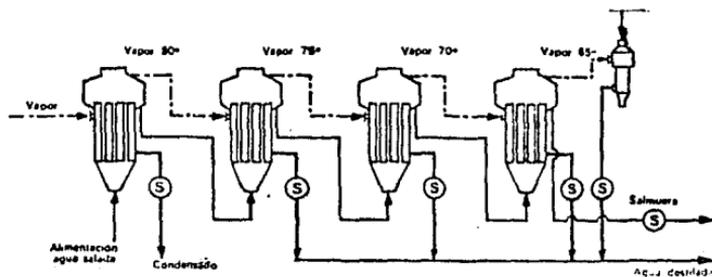
TUBOS HORIZONTALES (MÚLTIPLES EFECTOS)

b).- Tubos Verticales.

Contrariamente a lo que sucede en los evaporadores de tubos sumergidos, el vapor no se encuentra en el interior de los tubos, sino que los baña desde el exterior; el agua que hay que evaporar se encuentra en el interior de dichos tubos.

El proceso de este sistema, se explica de la siguiente manera: el agua de mar es pasada por una serie de calentadores, en donde alcanza una temperatura de 120°C , para alimentar al primer efecto. Por medio de una bomba de recirculación se envía el agua a la parte superior del efecto, bajando por gravedad en el interior de los tubos, en delgada película de agua. Por el exterior de los tubos circula vapor de calentamiento, haciendo que parte del agua se evapore y lo demás cae en la parte inferior del siguiente efecto.

El vapor producido en el primer efecto, sirve como vapor de calentamiento y el que se produce en el segundo se utiliza en el tercero y así sucesivamente, hasta que el vapor en el último efecto se condensa y reúne con los productos de los efectos anteriores, para formar el total de agua producto. Ver figura # 4.



(S) Bomba de extracción
fig. # 4
Destilador de múltiple efecto LTV.

2.1.4.- Congelación.

La congelación y vaporización son procedimientos similares que parten de la fase líquida salada, para obtener una fase diferente (gaseosa o sólida), desprovista de sales. La congelación ha llamado la atención en razón de la debilidad relativa del calor latente comparado al de vaporización:

Congelación	80 cal/gr a 0°C.
Vaporización	540 cal/gr a 100°C.

El procedimiento por congelación se muestra en la figura # 5. El agua que se ha de tratar, es admitida en una cámara de congelación, donde sufre una congelación parcial, formándose pequeños cristales de hielo puro. En la parte baja de la cámara, por un dispositivo apropiado el hielo es separado de la salmuera y dirigido hacia una cámara de fusión (F), que sirve como refrigerador del circuito frigorífico general, que comprende en un compresor (Pp) y el destilador (Dp); las frigorías de fusión son así inyectadas en este circuito.

Como la recuperación de las frigorías no se hacen con un rendimiento al 100%, es indispensable usar un circuito frigorífico secundario (Ps y Ds), que sumistre al mantenimiento del régimen de producción, el complemento de frigorías necesarias. La refrigeración de este circuito secundario se hace por una aportación exterior del agua. Un intercambiador de calor permite recuperar parcialmente las frigorías de la salmuera y del agua pura obtenida.

En la práctica industrial existen aparatos que producen hielo a partir del agua de mar, para un consumo de energía del orden de 47 KWH/M³. El hielo obtenido es puro; pero esta cubierto de una -

capa de salmuera que debe ser lavada. La operación del lavado es difícil y requiere de gran inversión de capital e igualmente para el sistema refrigerante.

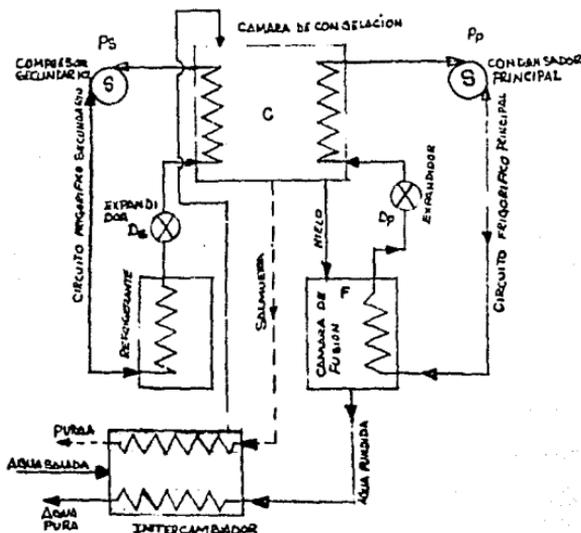


FIGURA # 5
DESALACION POR CONGELACION

2.1.5.- Compresión de vapor.

La compresión de vapor es la acción de hervir un líquido a temperatura elevada o bajas, aumentando o disminuyendo la presión sobre cierta superficie. De igual manera la temperatura de condensación de un vapor se incrementa o decrece al aumentar o disminuir la presión a que se somete. Al comprimir el vapor y aumentar su temperatura de condensación, se origina el proceso de evaporación por --com presión de vapor.

El proceso por compresión de vapor se explica en la -- figura #6. Para que el agua de mar se intrudusca en el equipo, debe:

ser tratada químicamente contra la alcalinidad. La bomba de recirculación hace pasar el agua de mar tratada a través de los tubos verticales, efectuándose la evaporación en la delgada película de agua — que desciende por dichos tubos; por el exterior de estos circula el vapor comprimido, que al condensarse pierde su calor latente, para obtener finalmente el agua producto.

Las ventajas que presenta éste tipo de proceso es debido a lo compacto del aparato y su alto rendimiento. El rendimiento — óptimo se obtiene con un aparato de destilación que tenga de 15 a 20 efectos; porque sus limitaciones provienen de sus exigencias en alimentación de energías y en la construcción de compresores de grandes dimensiones.

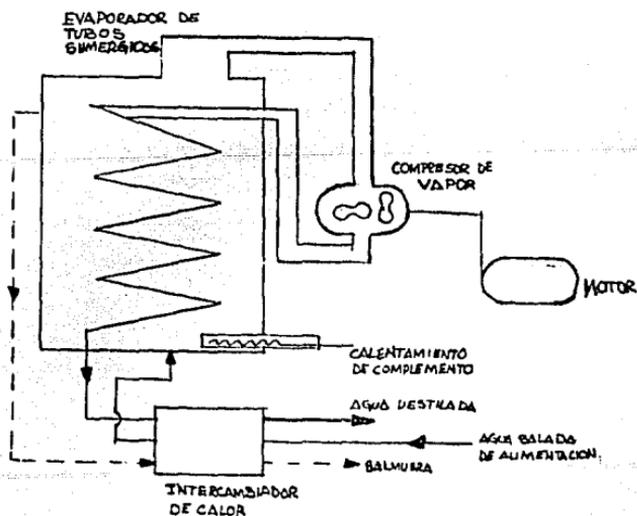


FIG. # 6.
COMPRESION DE VAPOR .

2.2.- PROCESOS ELECTRICOS.

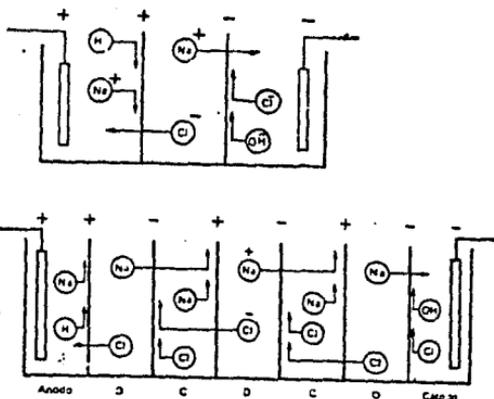
Son procesos donde al aplicarse un campo eléctrico, obligan a los cationes o aniones a pasar por membranas permeables e impermeables respectivamente; realizandose la separación de las sales del agua de mar. La separación de las sales se debe al ambiente ionizado en el que se encuentra el agua de mar.

2.2.1.- Electrodíalisis.

Es la aplicación de energía eléctrica a un medio líquido, separado por membranas, para su descomposición molecular. Para claridad del proceso la figura # 7 lo explica y consiste en lo siguiente: En la celda que contiene dos tipos de membranas, una que permite el paso de iones positivos o cationes y otra el paso de iones negativos o aniones, se aplica una corriente eléctrica, la cual provee la fuerza de conducción para los aniones.

La membrana catiónica permite el paso de los iones sódicos y la anódica exclusivamente los iones cloruros, permaneciendo en medio de estas el agua producto.

La cantidad de corriente que se requiere en un proceso como este, depende de la cantidad de sales disueltas y de la concentración de minerales en el agua de alimentación. Por lo consiguiente este tipo de proceso conviene para agua salobre, que no exceda de una decena de gramos por litro de sales y minerales.



- # 7

ELECTRODIALISIS

2.3.- PROCESOS QUIMICOS.

Estos procesos generalmente se llevan a cabo en dos etapas; primeramente, la desmineralización propiamente dicha, que es el resultado de un intercambio iónico entre una resina y el agua salina; la segunda, regeneración y recuperación de la misma.

2.3.1.- Intercambio Iónico.

El descubrimiento del intercambio iónico se remonta a 1850, en donde los Químicos, Thomson y Way, observan los intercambios de cationes ocurridos en ciertas tierras. Preparan aluminio-silicato, que absorbe los iones amonio y libera en cambio los iones sodio,

Actualmente el progreso de este descubrimiento ha sido notable; hace 35 años evidenciaron las propiedades del cambio en los iones de ciertas resinas, con radical sulfónico en el campo de

los cationes y con radical poliamina en el campo de los aniones . Las resinas modernas intercambiadoras de iones son polímeras, que permiten a la resina "hincharse" al contacto con el agua.

Para llevar a cabo éste proceso se requiere de un intercambiador iónico, que consiste en un lecho poroso formado de materiales resinosos, que tienen la particularidad de intercambiar iones con la solución de contacto. Los lechos de intercambio iónico están usualmente colocados en serie, como se ve en la fig.No.8.

Cuando la alimentación entra en contacto con el intercambiador catiónico (Resina ácida), los iones sodio son intercambiados por los iones Hidrógeno y el ión cloro pasa a través del lecho libremente. La solución de cloruro de sodio es convertida a una solución ácida, hidrociorhídrico; como la solución ácida fruye a través del intercambiador aniónico, los iones cloruro son intercambiados por los iones hidróxidos (OH) y cuando éstos son liberados, se combinan con los iones hidrógenos formando las moléculas de agua pura.

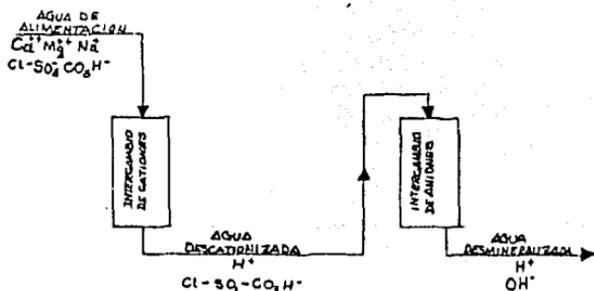


FIG. # 8 .
 INTERCAMBIO IONICO .

2.4.- PROCESO MECANICO.

Los procesos mecánicos se basan en la aplicación de cierta presión a una solución salina, que al vencer el equilibrio entre ésta y la presión osmótica, origina el paso de moléculas de agua a través de membranas semipermeables.

2.4.1.- Osmosis Inversa.

Generalmente éste proceso se utiliza en zonas donde se tienen mantos de agua salobre. La salinidad de éste tipo de -- aguas no debe ser mayor de unos 5,000 mg/lit (Sólidos totales).

De los procesos aquí descritos, es el mas sencillo -- de operar y el de mas bajo costo; en el cual se utilizan membranas semi-permeables de ciertos polímeros orgánicos, como acetados de celulosa y triacetados.

La presión osmótica del agua salobre debe ser vencida por otra presión, que al aplicarse a la solución rompe su -- equilibrio molecular y hace pasar las moléculas de agua a través de membrana semipermeable. La presión osmótica del agua salobre -- con unos 5000 mg/lit de sólidos totales es de unos 26.30 kg/cm². -- Para que el desarrollo del fenómeno no sea lento, la presión -- aplicable debe ser del orden de los 28.12 kg/cm². En el siguiente capítulo se describe mas ampliamente todo lo relacionado con éste proceso.

CAPITULO III.- DESALACION POR OSMOSIS INVERSA

3.1.- DETERMINACION DE FACTORES PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA DESALADORA.

Para instalar una planta desaladora en un cierto lugar es necesario contar con dos estudios:

I.- Estudio Socio-Económico.

II.- Estudio Técnico.

I.- Estudio Socio - Económico.- Como su nombre lo -- indica éste estudio hace un analisis cuidadoso de la población -- seleccionada; bajo los conceptos siguientes:

a).- La forma como se abastece la población de agua -- potable y su costo por m³.

b).- Analisis económico de diversos proyectos de abas -- tecimiento de agua potable.

c).- Capacidad de pago del agua desalada; Acuerdos -- entre población y núcleos industriales.

d).- Actitud ante la desalación: Consientizar a la -- población del proceso y actividades de las plantas, para valorar -- dicho abastecimiento.

e).- Programas de desarrollo económico: Magnitud del -- desarrollo rural de acuerdo a obtención del agua desalada.

f).- Comparación de la dotación requerida por cada - - pueblo con la dotación normalizada de vida.

g).- Población futura estimada de acuerdo a la capacidad productiva de cada región donde se localice el poblado.

II.- Estudio Técnico.- La función de este estudio, es considerar todos los factores técnicos, que pueden influir directa e indirectamente en la instalación de la planta, como :

a).- Tipos de fuentes existentes.- Debe conocerse los tipos de fuentes probables de abastecimiento; siendo los mas importantes; pozos superficiales y profundos, mar, lagos y lagunas.

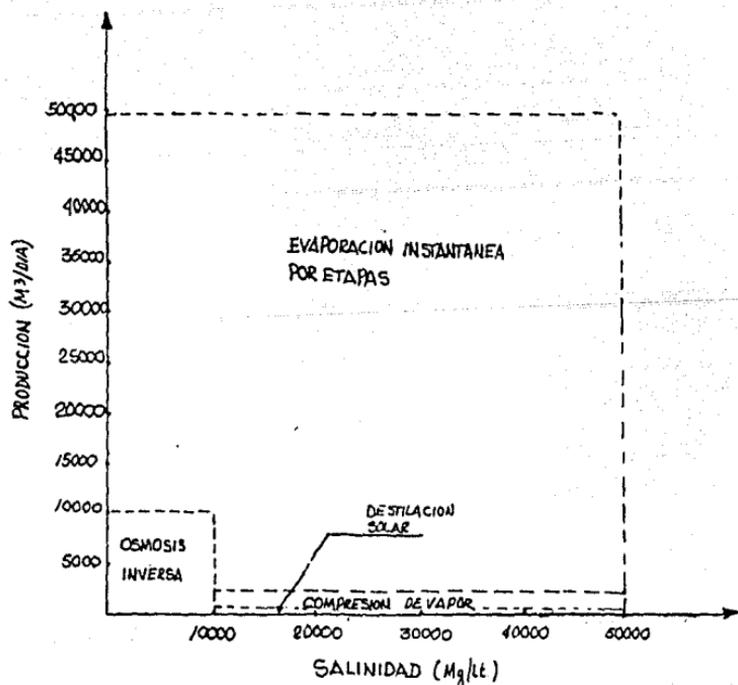
b).- Características Fisico-Químicas de las fuentes - existentes.- Conocer estas características es conocer el tipo de planta desaladora a utilizarse.

c).- Instalaciones de apoyo social.- Son construcciones que la población no utiliza e indispensable para la instalación de las plantas desaladoras. Estas edificaciones pueden ser: tanques casetas o casas.

d).- Topografía del lugar.- Este es necesario para la elección del lugar donde se instalará la planta desaladora, como -- son ; curvas de nivel, altitud con respecto al mar, orientación, -- etc.

e).- Es importante contar con el corte estratigráfico + del lugar para la cimentación y captación de aguas superficiales y subterránea, además de datos climatológicos y oceanográficos.

Con el análisis de los dos estudios realizados, se llega a concluir el tipo de planta recomendable. Para la decisión final se recurre a la gráfica que compara producción con salinidad. Ver - Gráfica # 1.



GRAFICA No. 1

3.2.- ANTECEDENTES Y TERMINOLOGIA.

3.2.1.- Antecedentes.

El estudio de la desalación en el mundo por medio de la Osmosis Inversa utilizando membranas semipermeables, constituyó un gran esfuerzo, que vino a evolucionar los procesos para la obtención de agua potable a partir de las aguas salinas.

Es en 1962 cuando los Estados Unidos de Norte-américa inicia las investigaciones con diferentes membranas para separar el helio del gas natural, debido a la escases de helio, que se agudizaba en dicho país. Como tal escases no se materializó totalmente, los esfuerzos realizados se dirigieron a la purificación del agua de mar. Es en 1967 cuando se desarrolla una membrana de fibra hueca, para la purificación de agua salobre (5000 mg/lt. de sólidos totales). Hoy en día existen empresas dedicadas al diseño de membranas, capaces de potabilizar el agua de mar que tiene 32000mg/lt de sólidos totales.

Otra de las aplicaciones que puede tener la Osmosis Inversa con membranas antes mencionadas, está el suministro de agua para calderas a partir de las aguas industriales o para remover contaminantes de los caudales de desecho. Hasta ahora, esta utilización no ha recibido mucha atención, aunque en un futuro no lejano, llegará a tener importancia debido al incremento de contaminación del planeta.

3.2.2.- Terminología.

Dentro de los términos que mas se usan en esta tesis, estan los que a continuación se leen; para el mejor entendimiento de los estudiantes.

Agua

Salobre.- Es el agua de pozo que tiene como máximo 5000 ppm de sólidos disueltos.

Alimentación.- Es el agua que se bombea en alta presión a un permeator y por lo mismo el agua a desalar.

Anión.- Ion cargado positivamente, que puede combinarse - cediendo una o todas sus cargas, tal como Ca^{++} - Mg^{++} .

Cación.- Ion cargado negativamente, que puede combinarse - cediendo una o todas sus cargas, tal como CO_3 SO_4 .

Conductividad.- Propiedad que tienen las soluciones para conducir la corriente eléctrica, misma que se incrementa -- proporcionalmente, al aumentar los sólidos disueltos en la solución.

Conversión.- Porcentaje de alimentación convertido en producto.

Equilibrio

Osmótico.- Cuando no ocurre ningún transporte de agua debido a la igualdad de la concentración del soluto en am los lados de la membrana, se denomina equilibrio - osmótico.

- Ion.-** Atomo radical o molécula cargada electricamente.
- Incrustaciones.-** Es la adherencia de sales suaves o duras que -- impiden el flujo normal a través de la membrana, en Osmosis Inversa o disminuye el coeficiente de transferencia de calor, en Compresión de vapor.
- Osmosis.-** Es la difusión de un solvente, como agua pura, - en una solución salina diluida y concentrada, a través de una membrana semi-permeable, que separa las dos soluciones.
- Osmosis**
- Inversa.-** Proceso que consiste en la aplicación de una -- presión, mayor que la presión osmótica de una -- solución concentrada, la cual causa un flujo - - desposeido en todo sólido, a través de una mem-- brana semi-permeable.
- Paso de sales.-** Se llama paso de sales, a la relación de la concentración del producto y la concentración de la alimentación expresada en porciento.
- Permeator.-** Básicamente es la armadura de epoxi y vidrio - - fibroso que contiene al material de fibra hueca, el cual se extiende axialmente y es por donde -- pasa la alimentación.
- Presión**
- Osmótica.-** Es la presión resultante del paso a traves de - una membrana semi-permeable, que separa dos soluciones de concentración de soluto en ambos lados de la membrana.

- Producto.- Es el agua ya desalada, que sale del o de los permeadores y que deberá tener una calidad igual o menor que lo estipulado por las normas de la S.S.A.
- Soluto.- Material (sales) disuelto por el solvente (agua).
- Sólidos Totales.- Es el material disuelto total, que presenta el análisis de una muestra, siendo orgánico e inorgánico.

3.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y MEMBRANAS.

3.3.1.- Descripción del Proceso.

La separación de agua pura y sólidos disueltos de un cierto tipo de agua salobre, mediante la aplicación de una presión a través de una membrana semi-permeable, se le llama Osmosis Inversa.

Con un ejemplo, sencillo describiremos lo que es Osmosis Inversa; Tomamos un recipiente dividido por el centro por una membrana semi-permeable, (figura No.9a); en uno de sus lados se coloca una solución sin sólidos disueltos (agua pura); mientras que en el otro lado se coloca una solución de sal; el fenómeno de Osmosis, natural causará que el agua pura pase a través de la membrana, hacia el otro lado, diluyendo la solución salina y aumentando su volumen, creando a la vez una diferencia de presión entre los dos lados del recipiente. El proceso cesará cuando la diferencia de presión sea igual a la presión natural de la solución, (figura No.9b). Dicha presión (osmótica), dependerá del tipo de mate

FLUJO OSMOTICO

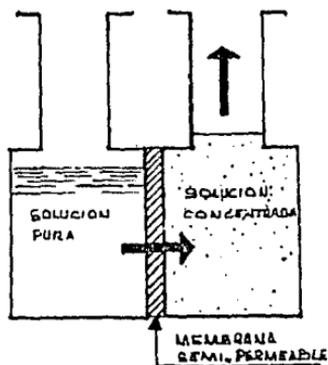


FIG 9a.

EQUILIBRIO OSMOTICO

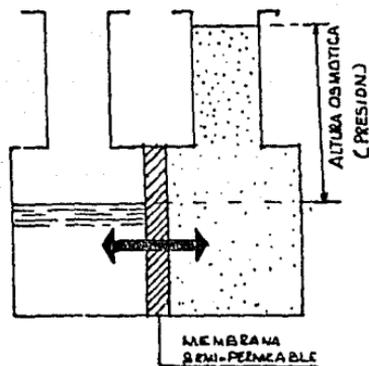


FIG. 9b.

EQUILIBRIO OSMOTICO

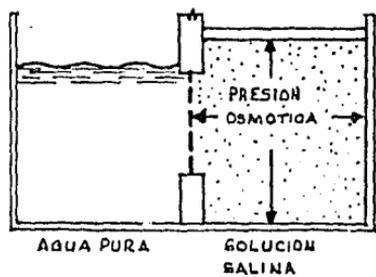


FIG. 9c.

OSMOSIS INVERSA

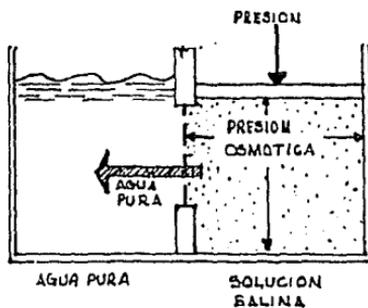


FIG 9d.

rial contenido en la solución de sal, cuanto más alto sea la concentración, mayor la presión osmótica.

En el caso de Osmosis Inversa, el proceso natural se invierte al aplicarse una presión, (figura No.9c). Si tuvieramos una presión igual a la presión osmótica, es lógico que no tendríamos un flujo a través de la membrana, (figura No.9d). De aquí se deduce que la cantidad de flujo a través de la membrana, es una función de la cantidad de presión que se ejerce en exeso, con relación a la presión osmótica.

Con los antecedentes anteriores, el proceso de Osmosis Inversa, se describe según la figura No. 10; donde el agua es bombeada a alta presión al recipiente que contienen la membrana, (permeator); una válvula reguladora de flujo permite el escape de la salmuera concentrada y a la vez cierta cantidad de agua, pasa por la membrana y sale como agua producto. Si en un momento dado la válvula se removiera, la concentración salina aumentaría en la alimentación, hasta que la presión osmótica se iguala a la presión ejercida, cesando el proceso y con la posibilidad de formar incrustaciones en la membrana, debido a la precipitación de materiales disueltos en la solución. Ver figura .

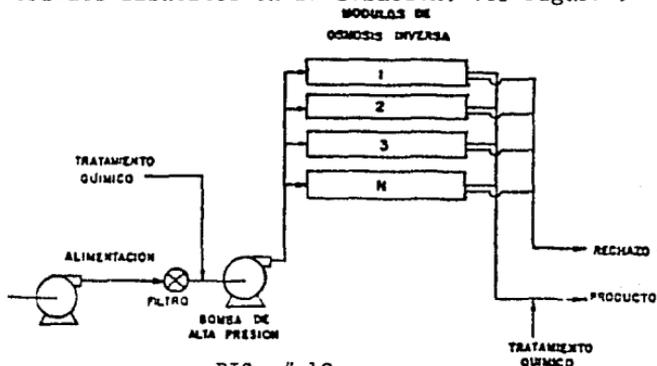


FIG. # 10
PROCESO POR OSMOSIS INVERSA.

3.3.2.- Membranas.

La clave verdadera de la Osmosis Inversa es la membrana. Su configuración está constituida por fibras huecas, por donde interiormente fluye el agua; en esta forma el agua salobre es separada en dos partes: agua pura (producto) y agua concentrada de sales — (rechazo). Al conjunto de fibras y carcasa se le llama Permeator. En la figura No. 11 se muestra un permeator.

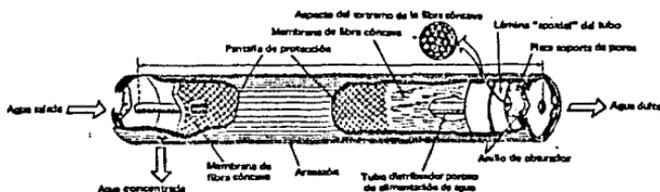


FIG. # 11.

PERMEATOR

Los materiales que se usan en las membranas son generalmente poliamidas aromáticas (aramidas). Las aramidas es una clase de poliamidas que se emplean en trajes incombustibles; es también la misma clase de material que usan para cuerdas de llantas de automóviles. Este material posee una resistencia comparativa al acero. Para membranas usadas en el tratamiento de agua salobre, se hilan con fibras que tienen un diámetro igual al del cabello humano, con un agujero en sentido longitudinal.

Basicamente la fibra consiste en una capa de soporte de polímero poroso, cubierta por un forro delgado, densamente embalado. Exactamente sobre la superficie de la fibra, es donde ocurre la separación de las sales con el agua pura.

La Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas, desarrolló una membrana compuesta con los siguientes materiales:

Acetato de celulosa	22.02	% en peso.
Perclorato de magnesio	0.438	"
Formamida	33.596	"
Acetona	43.946	"

3.3.3.- Ecuaciones Básicas de la Osmosis Inversa.

El funcionamiento básico de la membrana de Osmosis Inversa, se define sencillamente de acuerdo al flujo de agua producto - que pasa a través de ellas; expresando de la siguiente manera las ecuaciones básicas:

$$F_w = A (\Delta P - \bar{\pi}) \quad (1)$$

$$\bar{\pi} = \beta \frac{n}{v} (RT) \quad (2)$$

F_w = Flujo de agua (Gr/cm.seg.)

A = Constante de permeabilidad del agua (Gr/cm²seg-atm)

ΔP = Presión diferencial aplicada a través de una membrana (atm)

$\bar{\pi}$ = Presión osmótica diferencial (atm).

$\frac{n}{v}$ = Concentración total de Iones (moles-kg de H₂O).

T = Temperatura (°K).

F_s = $B (C_1 - C_2)$

F_s = Flujo de sal (Gr/cm²-seg).

B = Constante de permeabilidad de la sal (cm/seg).

$c_1 - c_2$ = Gradiente de concentración a través de la membrana (gr/cm³)

Las constantes de permeabilidad del agua y de la sal -- (A y B), son características esenciales de las membranas que se usan en el proceso, así como de su procedimiento y tratamiento que haya recibido en su elaboración dichas membranas, en donde los flujos de agua y sal dependen de la concentración de éstas constantes.

La temperatura del agua de alimentación tiene un efecto importante en el rendimiento de la membrana y por lo tanto debe tomarse en cuenta en el sistema. El incremento de temperatura en la alimentación, puede ocasionar a la membrana, hidrólisis a larga plazo.

3.3.4.- Incrustación en la Membrana:

Las membranas que actualmente se fabrican para el proceso de Osmosis Inversa, están sujetas a incrustaciones, debido a la precipitación de sales escasamente solubles.

En el caso de agua de pozo salobre, la formación de incrustamiento se debe a los carbonatos y sulfatos de calcio y en menor escala por sulfato de bario, sulfato de estroncio y sílice.

Además de las incrustaciones de sales, se tiene obstrucciones por el crecimiento de micro-organismos, aunque estas membranas son resistente al ataque bacteriano, para cualquier taponamiento se emplea un tratamiento de cloro periódicamente.

3.4.- PRETRATAMIENTO.

Dentro de este concepto quedará ampliamente definido la

conversión y la prevención del tratamiento contra incrustaciones. - Las sales mas comunes que se encuentran en aguas salobres y que ocasionan las incrustaciones en las membranas son las siguientes:

a).- Carbonato de calcio (Ca CO_3): La incrustación de carbonato de calcio ocurre en cualquier sistema, siendo necesario para ello un programa de control. El Índice de Saturación de Langelier (ISL), representa la medida justa para decidir si se requiere o no tratamiento contra el carbonato. Este Índice de Saturación siempre se verifica en el agua de rechazo. Para el cálculo del Índice hay que tomar en cuenta el análisis del agua de alimentación, la conversión del sistema y del rechazo.

De acuerdo a la experiencia de la Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas, se tiene comprobado que cuando la corriente de rechazo tiene un Índice negativo, no ocurrirá incrustaciones por carbonato de calcio y cuando el Índice resulta positivo, entonces es necesario agregar ácido sulfúrico al agua de alimentación, para convertir un porcentaje de los iones carbonatos a iones bicarbonatos y ácido carbónico.

Las incrustaciones de carbonato de calcio, también pueden prevenirse, utilizando ablandadores como las resinas de intercambiadores de cationes (suavisadores). La aplicación de estos ablandadores se usan cuando el p.H. de la corriente rechazada es menor de 8.

b).- Sulfato de calcio (Ca SO_4): Para saber si los sulfatos de calcio van a causar problemas de incrustamiento, se realiza una serie de cálculos, de acuerdo a la concentración de iones en la alimentación y la conversión de la planta de Osmosis Inversa.

Si resulta que tendremos problemas de incrustamiento por sulfato de calcio, se usa hexametafosfato de sodio, evitando con eso las precipitaciones de los sulfatos de calcio. Generalmente la cantidad que se añade al agua de alimentación en el sistema de Osmosis Inversa es aproximadamente de 10 mg/lt.

c).- Fierro: Este material puede reducir la productividad en el sistema de Osmosis, debido a la formación de complejos hidratados insolubles sobre la membrana; la presencia del fierro es en forma trivalente. El control de este elemento se realiza por medio de hexametafosfato de sodio, agregado al agua de alimentación; también puede controlarse reduciendo el P.H. del agua de alimentación a 5.5 o pasar el agua a través de arena verde.

d).- Cloro: Puede estar presente en algunas aguas; pero como las membranas de los permeadores son de triacetados de celulosa, prácticamente el ataque por cloro es nulo. En proporciones bajas, el cloro tiene la facultad de ayudar a limpiar las membranas de los permeadores, cuando el crecimiento de bacterias y lamas en aguas no tratadas está presente.

3.4.1.- Determinación del Índice de Saturación de Langelier.

Para demostrar la obtención de Índice de Saturación de Langelier, se toma el análisis Físico-Químico del agua a desalar; en este caso se tomó los caracteres del agua salobre de una región en Quintana Roo, donde se piensa instalar una planta de Osmosis Inversa con capacidad de 30 M³/día.

CARACTERES FISICOS:

Temperatura	21° C.
Color	20 Pt-Co.
Conductividad Especifica	4208 mhos/cm.

Sólidos Totales	3800 p.p.m.
p.H.	7.0
Turbiedad	230
Cloruro de Sodio (Na Cl)	2143 p.p.m.
Sólidos Disueltos	2940 p.p.m.

DETERMINACIONES (Normas en p.p.m.).

Dureza de Calcio	(Ca CO ₃)	970
Dureza total	(Ca CO ₃)	2060
Cloruros	(Cl)	618
Sulfatos	(SO ₄)	1336
Fosfatos	(PO ₄)	0.2
Sílice	(SiO ₂)	18
Bicarbonatos	(H CO ₃)	226
Nitratos	(NO ₃)	0.4
Calcio	(Ca++)	388
Magnesio	(Mg++)	262
Sodio	(Na++) (calculado)	179
Fierro	(Fe++)	0.1
Alcalinidad Total		184

Para calcular el índice de Saturación de Langelier, la cantidad de ácido sulfúrico y la conversión máxima con hexametafosfato es necesario tomar los datos requeridos y realizar los cálculos con un método, establecido:

Datos Requeridos:

Dureza	(Ca CO ₃)	=	970 p.p.m.
Alcalinidad	(Ca CO ₃)	=	184 p.p.m.
Temperatura		=	21° C (70° F).

p.H. = 7
 Sólidos totales = 3800 p.p.m.

Secuencia del cálculo:

Pca = 2 (De la gráfica de Langelier).
 PALK = 2.43 (De la gráfica de Langelier).
 C = 2.342 (De la gráfica de Langelier).

SUMA (p.H.s) = Pca + PALK + C = 6.77

Restando del p.H. del agua la suma anterior, tenemos:

p.H. - SUMA (p.H.s) = 7 - 6.77 = + 0.23

El número positivo indica incrustamiento; por lo tanto se requiere de un tratamiento a base de ácido sulfurico al 100%. Para el cálculo del ácido, se desarrolla la siguiente secuencia:

Datos:

S = 2940 p.p.m. (Sólidos totales disueltos de alimentación).

H = 970 p.p.m. (Dureza de calcio de alimentación).

A = 184 p.p.m. (Alcalinidad a p.H. no tratado).

Solución:

K = 5.20 (De gráfica ALC/CO₃ y p.H. igual a 7.0 de agua no tratada).

R = $\frac{\text{Gasto de agua producto}}{\text{Gasto de alimentación}} = \frac{30 \text{ M}^3/\text{día}}{60 \text{ M}^3/\text{día}} = 0.5$ (Relación de conversión).

K₁ = 0.5 (De gráfica ALC/CO₃ y un P.H. de 6.0 deseado).

C = $\frac{A}{K} = \frac{184}{5.20} = 35.38$ (Concentración de CO₂ en el agua no tratada).

X = $\frac{A - CK}{K + 1} = \frac{184 - (35.38)(0.5)}{0.5 + 1} = 110.87$ (Cambio en unidades en ALC y CO₂ debido al p.H. escogido).

C₁ = C + 0.9 X = 35.38 + 0.9(110.87) = 135.16 (Concentración de CO₂ en el agua tratada).

A₁ = A - X = 184 - 110.87 = 73.13 (Alcalinidad p.H. tratado).

$$C_2 = \frac{0.5 C}{1 - R} = \frac{0.5 \times 135.16}{1 - 0.5} = 135.16 \text{ (Concentración de CO}_2 \text{ con el rechazo).}$$

$$A_2 = \frac{0.95 A_1}{1 - R} = \frac{0.95 \times 73.13}{1 - 0.5} = 138.95 \text{ (Alcalinidad de rechazo).}$$

$$K_2 = \frac{A_2}{C_2} = \frac{138.95}{135.16} = 1.03 \text{ (Relación de alcalinidad y concentración de CO}_2 \text{ en el rechazo).}$$

$$P_2 = 6.32 \text{ (p.H del rechazo, de gráfica con } K_2 \text{).}$$

$$H_2 = \frac{0.95 H}{1 - R} = \frac{0.95 (970)}{1 - 0.5} = 1843.00 \text{ (Dureza de calcio del rechazo).}$$

$$S_2 = \frac{0.95 S}{1 - R} = \frac{0.95 (2940)}{1 - 0.5} = 5292 \text{ (Sólidos totales disueltos del rechazo).}$$

$$P_{ca} = 1.80 \text{ (Con } H_2, \text{ se obtiene de gráfica de Langelier).}$$

$$PALK = 2.55 \text{ (Con } A_2, \text{ se obtiene de gráfica de Langelier).}$$

$$"C" \text{ a } 70^\circ F = 2.36 \text{ (Con } S_2, \text{ se obtiene de gráfica de Langelier).}$$

$$\text{Suma } P_2 S = P_{ca} + PALK + C = 1.80 + 2.55 + 2.36 = 6.71$$

Condiciones:

Si $P_2 S > P_2$ El rechazo no incrustará.

Si $P_2 S < P_2$ Puede tener incrustaciones el rechazo.

Como $6.71 > 6.32$ El rechazo no incrustará.

La cantidad de ácido que se requiere para el tratamiento de esta agua es el siguiente:

$$Z = A - CK_1 = 184 - 35.38 (0.5) = 112.65 \text{ (Cantidad de ácido sulfúrico para ajustar el p.H. en mg/lit)}$$

Si la conversión fuera al 50%, tendríamos:

$$60\ 000 \text{ lt/día} \times 112.65 \text{ mg/lit} = 6759.00 \text{ gr/día} = \frac{6759.00}{60\ 000} = 0.11265 \text{ gr/lit}$$

$$\delta_{H_2SO_4} = 1.84 \text{ kg/lit.}$$

Si la cantidad de ácido en kg por cada litro de agua es de 0.11×10^{-3} kg/lit; para 60 000 lts de agua de alimentación se requiere de 6.759 kg; por lo tanto el volumen en lts de ácido (H_2SO_4) es:

$$V = \frac{0.759 K_e}{1.84 \text{ kg/lts}} = 3.67 \text{ lt. al } 100 \%$$

Calculo del % de conversión máxima permisible con Hexa-
metafosfato de Sodio.

Datos de solubilidad del Ca SO₄:

- a).- Ca⁺⁺ (388x2.5 = 970 mg/l)
 b).- Na⁺⁺ (179x2.18 = 390.22 mg/l)
 c).- Mg⁺⁺ (262x4.1 = 1074.20 mg/l)
 d).- SO₄⁻ (1338x1.04 = 1391.52 mg/l)
 f).- HCO₃⁻ (226x0.82 = 185.32 mg/l)

$$a+b+c = 970+390.22+1074.20 = 2434.42$$

$$d+e+f = 1391.52+871.38+185.32 = 2448.22 ; \frac{2434.42}{2448.22} = 9.9\%$$

Los dos valores anteriores deben estar dentro del 10%,
para que los analisis esten correctos

$$g).- (d - a) 0.02 = (1391.52 - 970)0.02 = 8.43$$

$$h).- (b) \left(1 - \frac{d+a}{b+c}\right) 0.02 = 390.22 \left(1 - \frac{1391.52+970}{390.22+1074.20}\right) 0.02 = -4.78$$

$$i).- (c) \left(1 - \frac{a}{b+c}\right) 0.02 = (1074.20) \left(1 - \frac{970}{390.22+1074.20}\right) 0.02 = 7.25$$

$$j).- g+h+i = 8.43-4.78+7.25 = 10.90$$

$$k).- "Y" \text{ de la curva k, con "x"}(10.90) = 27.273 \text{ (gráfica)}$$

$$l).- "Y" \text{ de la curva l, con "x"}(10.90) = 32.86 \text{ (gráfica)}$$

$$m).- "Y" \text{ de la curva m, con "x"}(10.90) = 34.29 \text{ (gráfica)}$$

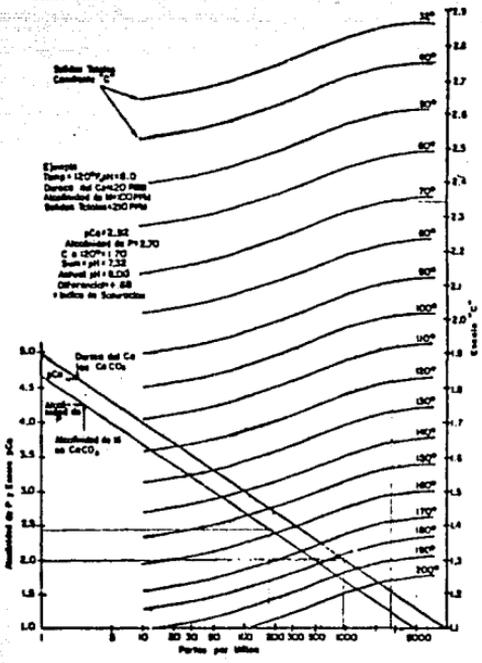
$$n).- (k)(g)/(j) = \frac{27.273 \times 8.43}{10.90} = 21.90$$

$$o).- (l)(h)/(j) = \frac{32.86 \times (-4.78)}{10.90} = -14.41$$

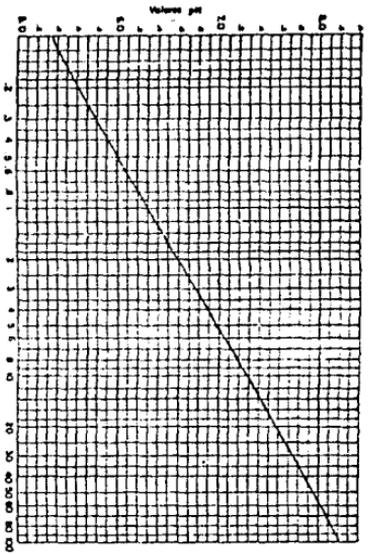
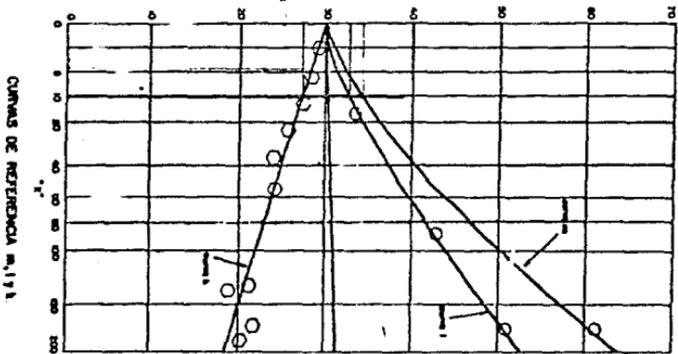
$$p).- (m)(i)/(j) = \frac{34.29 \times 7.25}{10.90} = 22.81$$

$$q).- n+o+p = 21.9 - 14.41 + 22.81 = 29.49$$

$$r).- \frac{a}{50q} \times 100 \text{ (\% de saturación)} = \frac{970}{50(29.49)} \times 100 = 66\% \text{ de Saturación}$$



INDICE DE SATURACION LANGELIER



EFFECTO DE LA ALCANTARIDAD DEL BICARBONATO Y EL CO₂ EN PH

Asociación del personal de Sanidad Industrial en España S.C.I.S.
 Residencia "Escuela de Estudios" del Imperio en San Sebastián

s).- $100 - (1.25)(n)$ (máximo % de conversión) = $100 - (1.25)(66) = 17.51\%$
 Es el máximo % de conversión sin Hexametafosfato.

$$P.C. = \frac{100}{100 - \% \text{ conversión}} = \frac{100}{100 - 17.51} = 1.21$$

$$1.21 \times 1.5 = 1.82$$

% conversión máxima permisible con Hexametafosfato de sodio.

$$\% C = 1 - \frac{1}{1.82} = 45\%$$

3.5.- EQUIPO Y DIAGRAMAS.

3.5.1.- Cálculo de Bombas y Tuberías.

Siguiendo con el ejemplo de una planta de $30 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua producto; se procede al cálculo del equipo, que está en función de los siguientes puntos:

a).- Conversión máxima permisible que para este caso es de 45 %.

b).- El gasto del pozo.

Con los datos anteriores se procede al cálculo de las bombas, tomando en cuenta los gastos de operación.

$$Q_p = 30 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Gasto producto).}$$

$$Q_a = \frac{30 \times 100}{45} = 66.67 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Gasto alimentación).}$$

$$Q_r = 66.67 - 30 = 36.67 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Gasto rechazo).}$$

Bomba de alta presión:

$$Q_a = 66.67 \text{ m}^3/\text{día} = 0.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$H = 31.50 \text{ kg/cm}^2 = \frac{31.5 \times 10^4}{1.041 \times 10^3} = 303 \text{ m de H}_2\text{O (Carga a vencer).}$$

$$\gamma = 1041 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 0.35 \%$$

$$P = \frac{Q_a H \gamma}{\eta} = \frac{0.77 \times 10^{-3} \times 303 \times 1041}{0.35} = 693.93 \text{ kg.m/seg.}$$

$$P = \frac{693.93 \text{ kg.m/seg} \times \text{H.P.}}{75 \text{ kg.m/seg.}} = 9.25 \text{ H.P. (Seleccionamos una bomba de 10 H.P.)}$$

Bomba de ayuda:

$$Q_a = 0.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$H = 2.80 \text{ kg/cm}^2 = \frac{2.80 \times 10^4}{1.041 \times 10^3} = 27 \text{ m de columna de H}_2\text{O (Carga a vencer)}$$

$$P = \frac{Q_a H \gamma}{\eta} = \frac{0.77 \times 10^{-3} \times 27 \times 1041}{0.75} = 28.85 \text{ kg.m/seg.}$$

$$P = \frac{28.85}{75} = 0.38 \text{ H.P. (La bomba seleccionada será de 1/2 H.P.)}$$

Tuberia de alimentación :

$$Q_a = 0.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$v_a = 2 \text{ m/seg. (Velocidad supuesta)}$$

$$A = \frac{Q_a}{v_a} = \frac{0.77 \times 10^{-3}}{2} = 0.000385 \text{ m}^2 = 3.85 \text{ cm}^2 \text{ (Area).}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 0.785 d^2 ; \quad d = \left(\frac{A}{0.785} \right)^{1/2}$$

$$d = \left(\frac{3.85}{0.785} \right)^{1/2} = 2.21 \text{ cm (Seleccionamos un diametro comercial de 1").}$$

$$A = 0.785 \times (0.0254)^2 = 0.0005067 \text{ m}^2. \text{ (Area real).}$$

$$v_a = \frac{0.0007700}{0.0005067} = 1.52 \text{ (Velocidad real).}$$

Tuberia de rechazo:

$$Q_r = 36.67 \text{ m}^3/\text{dia.} = 0.00043 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$v_r = 2 \text{ m/seg. (Velocidad supuesta).}$$

$$A = \frac{Q_r}{v_r} = \frac{0.43 \times 10^{-3}}{2} = 0.215 \times 10^{-3} \text{ m}^2.$$

$$d = \left(\frac{A}{0.785} \right)^{1/2} = \left(\frac{0.215 \times 10^{-2}}{0.785} \right)^{1/2} = 0.0165 \text{ m} = 1.65 \text{ cm. (El diametro del rechazo es de } 3/4\text{")}$$

$$A = 0.785 (0.019)^2 = 0.283 \times 10^{-3} \text{ m}^2. \text{ (Area real).}$$

$$v_r = \frac{0.00043}{0.000283} = 1.66 \text{ m/seg. (Velocidad real).}$$

Tubería de rechazo:

$$Q_p = 30 \text{ m}^3/\text{dia} = 0.00035 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$v_p = 2 \text{ m/seg. (Velocidad supuesta).}$$

$$A = \frac{Q_p}{v_p} = \frac{0.35 \times 10^{-3}}{2} = 0.175 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d = \left(\frac{A}{0.785} \right)^{1/2} = \left(\frac{0.175 \times 10^{-3}}{0.785} \right)^{1/2} = 1.49 \text{ cm. (El diametro comercial seleccionado es de } 3/4\text{")}$$

$$A = 0.282 \times 10^{-3} \text{ m}^2. \text{ (Area real).}$$

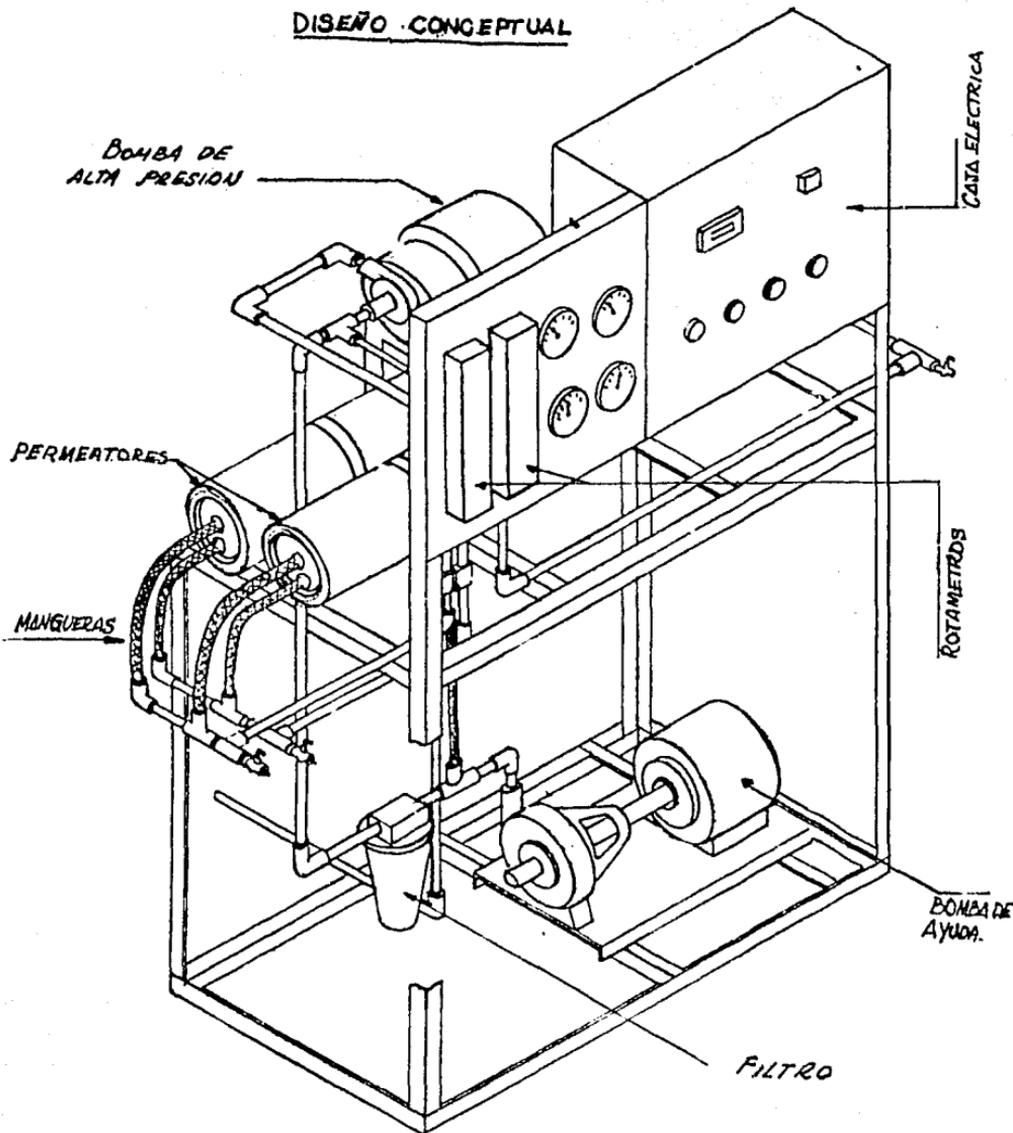
$$v_p = 1.23 \text{ m/seg. (Velocidad real).}$$

3.5.2.- Descripción del equipo y especificaciones.

La planta que nos ha servido de ejemplo, para demostrar su pretratamiento (30 m³/dia), también será para cuantificar y especificar el equipo que la forma. Las especificaciones que se dan están en relación al tipo de manufactura.

- 1.- Dos permeadores de 4" de diametro.
- 2.- Una bomba centrífuga de 10 H.P. (Alta presión).
- 3.- Una bomba centrífuga de 1/2 H.P. (Ayuda).
- 4.- Dos rotámetros, con una presión máxima permitida de 7.5 kg/cm².
- 5.- Un filtro de cartucho para presión máxima permitida de 7.5 kg/cm².
- 6.- Dos manómetros con carátulas de 11.4 cm de diámetro.
- 7.- Un interruptor de presión con límite de 0 - 42 kg/cm²

DISEÑO CONCEPTUAL



salida posterior de $3/8$ " de diámetro.

8.- Un interruptor de presión con rango de 0 - 7 kg/cm^2 .

9.- Un interruptor de temperatura, con bulbo.

En la figura del diseño conceptual se muestra claramente estos equipos.

3.5.3.- Control Eléctrico.

El control eléctrico de la planta es de suma importancia ya que su mal funcionamiento puede originar la pérdida parcial o total del equipo.

El sistema eléctrico debe tener las condiciones de: marcha y paro, alarma óptica y audible, señalar el motivo del paro; siendo - - este la baja presión en la succión de la bomba, la alta presión, alta temperatura en el agua de alimentación, alta presión en la entrada del permeator, etc.

La secuencia del sistema y condiciones de falla, se muestran en el diagrama siguiente.

SIMBOLOGIA:

BG. - SWITCH GENERAL
 RT. - RELEVADOR DE TIEMPO
 B.A. - BOMBA DE ALTA PRESION
 H. - HOJOMETRO
 SP. - SWITCH DE PRESION
 RC. - RELEVADOR
 A. - ALARMA
 D.A. - COMBA DE AYUDA

SECUENCIA DEL SISTEMA DE CONTROL

AL CERRAR EL SWITCH GENERAL BG:

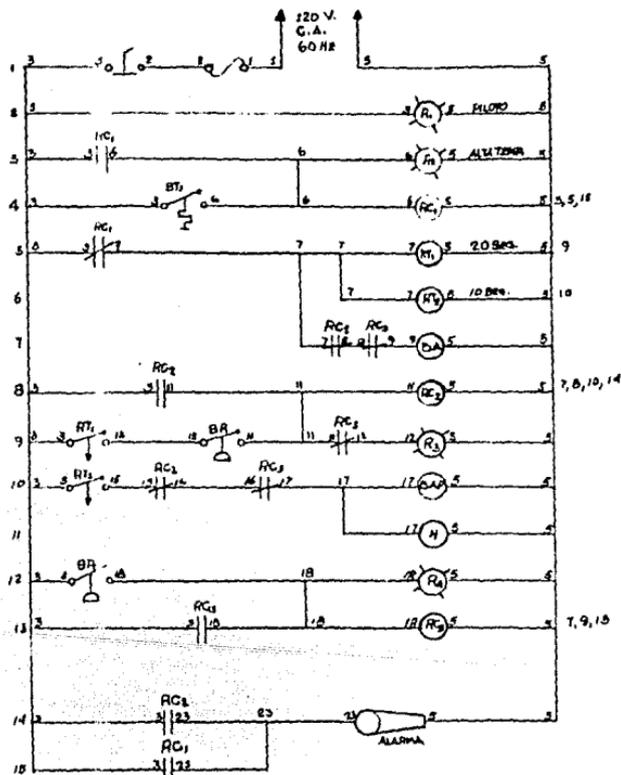
- 1.- SE ENCIENDE LA LUZ PILOTO P.
- 2.- SE ENCIENEN LOS RELEVADORES DE TIEMPO RT₁ Y RT₂ Y SE ARRANCA LA BOMBA DE AYUDA (LINEAS 6, 6 Y 7)
- 3.- A LOS 10 SEG ACTUA EL RELEVADOR RT₁ SOBRE LA LINEA 10
- 4.- EN LA LINEA 10 SE CIERRA RT₂ INVERSANDO EL CABLE 15
- 5.- SE ARRANCA LA BOMBA DE ALTA PRESION "B.A." Y EL HOJOMETRO "H"
- 6.- A LOS 20 SEG ACTUA EL RELEVADOR RT₂ SOBRE LA LINEA 9
- 7.- EN LA LINEA 9 SE CIERRA EL SWITCH RT₁, EL SWITCH DE PRESION SP, DEBE ESTAR ABIERTO YA
- 7.- LA PLANTA OREXA NORMALMENTE

CONDICIONES DE FALLA.

- 1).- BAJA PRESION EN LA BUCION DE LA BOMBA DE ALTA PRESION.
 EN LA LINEA 9 SE CIERRA EL SWITCH DE PRESION SP, ENERGIZANDO EL CABLE 11. EL RELEVADOR RC₁ (LINEA 8) ACTUA SOBRE LA LINEA 7 ABRIENDO EL CIRCUITO DE LA BOMBA DE AYUDA HONANDO A ESTA. EN LA LINEA 8 ACTUA CERRANDO EL CIRCUITO DE RC₂ DE MANERA QUE NO SE RESTABLESCA LA OPERACION SI DESAPARECE LA CONDICION DE FALLA Y ENCENDIENDO LA LUZ PILOTO P.
 LINEA 10 SE ABRE CIRCUITO DE LA BOMBA DE ALTA PRESION Y HOJOMETRO PARANDO AMBOS. LINEA 14 SE CIERRA EL CIRCUITO DE ALARMA FUNCIONANDO ESTA
- 2).- ALTA PRESION DE ALIMENTACION
 LINEA 17 SE CIERRA SP, ENCENDIENDO LA LUZ P, ACTUANDO RC₁. LINE 7 SE ABRE B.A
 LINEA 9 ABRE EL CIRCUITO DE LA LUZ P.
 LINEA 13 SE CIERRA RC₂ PARA NO RESTABLECER LA CONDICION DE FALLA

COMO SE VERO LA BOMBA DE ALTA PRESION DE SECCION DE LA BOMBA DE ALTA PRESION ENVA Y SE CIERRA SP EN LA LINEA 9, ACTUANDO RC₂ SOBRE 7, 8, 10 Y 14 SE ABRE RC₁ EN 7, ESTE CIRCUITO HA ESTABA ARRANCO. EN 8 SE CIERRA RC₂. EN 10 SE ABRE EL CIRCUITO DE LA B.A. Y PARANDOSE EN LA LINEA 11 SE CIERRA SP, HACIENDO FUNCIONAR LA ALARMA.

- 3).- ALTA TEMPERATURA DE LA BOMBA DE AYUDA
 LINEA 5 SE CIERRA ST, ACTUANDO RC₁ SOBRE 5, 5 Y 14, ENCENDIENDO P.
 LINEA 3 SE CIERRA RC₁, PARA NO RESTABLECER
 LINEA 5 SE ABRE RC₁, ARRANCO LA B.A. (LINEA 7) DE ACTIVANDO RT₁ DITANDO SOBRE LINEA 9 Y RT₂ QUE ACTUA SOBRE LA LINEA 10 EN LA LINEA 9 SE ABRE RT₁, Y EL 2. SE ARRANCA LA PRESION Y CERRANDO SP NO ACTUA RC₂ EN LA LINEA 9
 LINEA 10 SE ABRE RT₂ Y SE RELAN LA B.A. Y EL HOJOMETRO
 EN LA LINEA 15 SE CIERRA EL CIRCUITO DE LA ALARMA HACIENDO FUNCIONAR A ESTA



**DIAGRAMA DE
 CONTROL ELECTRICO**

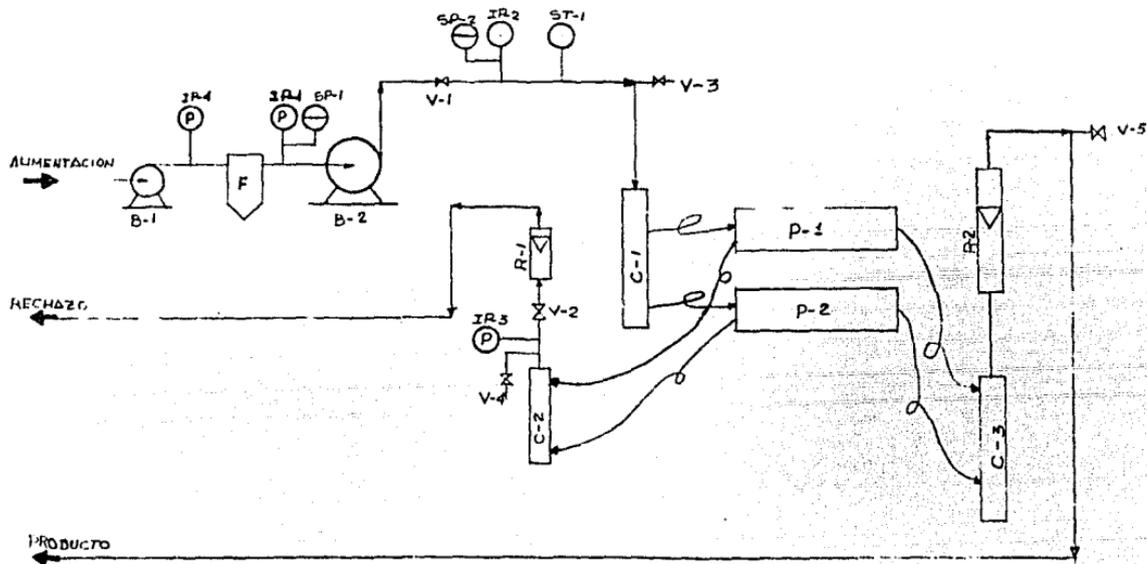
3.5.4.- Diagrama de flujo.

Para poder tener una secuencia de recorrido del agua a través del equipo que forman la planta de Osmosis Inversa, es necesario contar con un diagrama de flujo. Para el ejemplo de la planta de $30\text{m}^3/\text{día}$, la descripción del diagrama es el siguiente:

El agua previamente tratada, pasa por la bomba de ayuda B-1, levantando una presión de 1.41 kg/cm^2 observada en el manómetro IP-4; de allí el agua pasa a un filtro de 5 micrones, para quitar -- sólidos en suspensión; la presión de entrada a la bomba de alta presión B-2 controlada por el manómetro IP-1. Cuando la diferencia de -- presiones entre la originada por la bomba de ayuda y la de alta -- presión de 0.70 kg/cm^2 el filtro se encuentra sucio.

El interruptor SP-2 tiene la presión de proteger la -- bomba de alta presión, cortando la corriente cuando la presión de -- alimentación sea menor de 0.7 kg/cm^2 . La descarga de la bomba de alta presión está controlada por la valvula de aguja V-1, que regula su -- presión y volumen. Para la protección del permeator se cuenta con el interruptor SP-2, que corta la energía eléctrica cuando la presión -- excede de 31.64 kg/cm^2 ; además se cuenta con un interruptor de temperatura ST-1, para control de la temperatura del agua de alimentación cortando la corriente cuando la temperatura pase de 30° C .

Después de pasar por bombas, filtros, manómetros y valvula, el agua de alimentación pasa a un cabezal C-1, el cual distribuye el fluido a dos permeatores P-1 y P-2; por uno de los extremos -- del permeator sale el rechazo, llevado a otro cabezal C-2 y regulado por la valvula de aguja V-2; verificando su presión por medio del -- rotámetro IP-3 y su flujo por el rotámetro R-1. El agua producto sale por el otro extremo del permeator hasta llegar a un cabezal C-3 y un rotámetro R-2 que verifica el flujo para comprobar su conversión.



NOVENCLATURA

B-1 BOMBA DE AYUDA
 B-2 BOMBA DE ALTA PRESION
 IP-1 MANOMETRO DE SUCCION
 IP-2 MANOMETRO DE ALIMENTACION
 IP-3 MANOMETRO DE RECHAZO
 SP-1 SWITCH DE BAJA PRESION
 SP-2 SWITCH DE ALTA PRESION
 V-1 VALVULA DE ALIMENTACION
 V-2 VALVULA DE RECHAZO
 ST-1 TERMOMETRO DE ALIMENTACION
 C-1 CABELAL DE ALIMENTACION
 C-2 CABELAL DE RECHAZO
 C-3 CABELAL DE PRODUCTO
 P-1 PERMEADOR No 1

P-2 PERMEADOR No 2
 IP-4 MANOMETRO DE BOMBA DE AYUDA
 F FILTRO DE CARTUCHO
 V-3 VALVULA DE MUESTREO DE ALIMENTACION
 V-4 VALVULA DE MUESTREO DE RECHAZO
 V-5 VALVULA DE MUESTREO DE PRODUCTO
 R-1 ROTAMETRO DE RECHAZO
 R-2 ROTAMETRO DE PRODUCTO
 ST-1 SWITCH TEMPERATURA

DIAGRAMA DE FLUJO

3.6.- MANTENIMIENTO DEL EQUIPO Y RECOMENDACIONES

Para que la planta de Osmosis Inversa tenga un funcionamiento adecuado, es necesario que periodicamente se le aplique su limpieza, para evitar incrustaciones futuras y desprender las que puedan existir. Para llevar a cabo tal operación es necesario contar con los siguientes compuestos:

- a).- Detergente
- b).- Acido cítrico
- c).- Hexametáfosfato de sodio
- d).- Hidróxido de amonía
- e).- Sosa cáustica
- f).- P.T.A. (Caloide para protección de membranas)
- g).- Cloruro de sodio
- h).- Formaldehidos
- i).- Hielo

Con las substancias anteriores, el procedimiento de limpieza del permeator, tiene que seguir una secuencia que optimiza el procedimiento:

1.- Revisión y clasificación de Permeatores.- Dentro de este punto, es necesario contar con los análisis físico-químicos últimos del agua de alimentación, producto y rechazo; además se debe analizar las condiciones actuales de cada permeator, para proceder adecuadamente según su estado en se encuentre.

2.- Aplicación de lavados.- Para aplicar los lavados en los permeatores debe tenerse a la mano los análisis del agua de alimentación y proceder de acuerdo a sus características; atacando primeramente a los incrustantes detectados.

Estos lavados se efectúan paulatinamente hasta agotar - todas las posibilidades de incrustación. En cada ciclo de limpieza se analiza continuamente el agua de rechazo, para saber la efectividad - del mismo.

3.- Recubrimiento de Membranas.- Si después de haber -- aplicado la limpieza y verificado que no existe incrustaciones y los permeadores no hayan mejorado su paso de sal, se procede a aplicar un recubrimiento de P.T.A. (Solución al 50%).

Para el buen funcionamiento del permeator, es necesario que sea cuidadosamente protegido, tomando en cuenta las siguientes -- recomendaciones:

1.- Protección de la fibra para evitar su secado.- Las fibras deberan mantenerse saturadas de agua todo el tiempo; si la -- fibra se saca, el permeator es dañado en su productividad.

2.- Protección de daños físicos.- Para evitar cualquier daño por golpes es necesario usar " huacales" para protección de los permeadores y equipo en general.

3.- Lavado antes del uso.- Los permeadores requieren de un lavado antes de ser usados, ya que estos traen una solución acuosa de glicerina y de formaldehidos, que protegen al permeator de tempera - turas frias y lo mantienen en condiciones estériles.

4.- Protección por temperaturas extremosas.- Como se -- explicó anteriormente, para la protección del frío es necesario que - los permeadores lleven una solución de glicerina, con un 18 % en peso. Las bajas temperaturas que en éstas condiciones puede soportar el - permeator es de 0°F (- 18°C) y 40°C en altas temperaturas.

5.- Limpieza del permeator para prevención de crecimien
tos biológicos.- Es recomendable que todo el permeator sea lavado con
una solución de formaldehidos al 1% (ingrediente activo), esto se --
aplica después de haber sido aplicada la glicerina para el frio.

CAPITULO IV.- COSTO DEL METRO CUBICO DE AGUA PRODUCTO.

4.1.- Cálculo del costo del metro cúbico de agua producto para Osmosis Inversa.

Para la comparación de diversos tipos de abastecimientos de agua potable, es indispensable contar con el costo del metro cúbico de agua tratada. Dentro de los procesos de la desalación, el metro cúbico de agua producto obtenido por Osmosis Inversa, es el mas económico. Este presupuesto fue calculado en Febrero de 1979.

1.- Equipo (Planta).

Permeator	\$ 160,000.00
Bomba de ayuda.....	\$ 5,000.00
Bomba de alta presión.....	\$ 25,000.00
Sistema de control eléctrico.....	\$ 12,000.00
Estructura de soporte.....	\$ 1,500.00
Tuberías, conexiones, válvulas, etc.....	\$ 3,500.00
Equipo ligero (manómetro, filtro, etc.).....	\$ <u>50,000.00</u>
	\$ 257,000.00
Mano de obra.....	\$ <u>12,850.00</u>
Total.....	\$ 269,850.00

2.- Obra civil..... \$ 225,000.00

La obra civil comprende: caseta para la planta, tanques de regularización y almacenamiento, instalación eléctrica e hidráulica.

3.- Instalación y arranque..... \$ 15,000.00

DATOS:

Valor de la Planta	\$ 269,850.00
Instalación y arranque	" 15,000.00
Obra civil	" <u>225,000.00</u>
Inversión Total	\$ 509,850.00

Gastos Fijos (F):

1.- Sueldo de un operador.....	\$ 43,000.00/año
2.- Depreciación de la Planta ($\frac{274,575.00}{10 \text{ años}}$)...	" 27,457.00/año
3.- Amortización de la Obra civil e instalación y arranque ($\frac{225,000.00 + 15,000.00}{15 \text{ años}}$).....	" 16,000.00/año
Gasto Fijo Total	\$ 86,457.00/año

Gastos Variables (V):

1.- Energéticos:

a).- Energía eléctrica; el total de energía eléctrica gastada en un día es de 300 KWH ($\frac{300 \times 0.80}{30}$).....	\$ 8.00/M3
---	------------

2.- Reactivos:

a).- Acido sulfúrico; el precio de este reactivo es de \$ 2.60/kg. el cual se requiere de 3.67 lt/30 M3. El peso volumétrico es 1.84 kg/lt, ($\frac{2.60 \times 3.67 \times 1.84}{30}$)..	\$ 0.58/M3
---	------------

b).- Hexametáfosfato de sodio; se requieren 10 mg/lt ó 0.666 kg/30M³, a un precio== de \$ 32.00/kg; ($\frac{32.00 \times 0.66}{30}$) \$ 0.71/m³.

c).- Acido cítrico; se necesita 0.25 kg/30M³ de ácido cítrico para lavado de permeatores a \$ 1.90; ($\frac{1.90 \times 0.25}{30}$) \$ 0.02/M³.

3.- Refacciones y reparaciones por contratos La cantidad requerida por cada metro cúbico de agua producto, está en función = de la experiencia que se ha tenido, siendo \$ 31,680.00/año, tomando el año a 330 días; ($\frac{31,600.00}{330 \times 30}$) \$ 3.20/M³.

4.- Transporte de reactivos y refacciones; = El gasto anual por transporte es de - - \$ 3,200.00; para este caso, tomamos el - año en 365 días; ($\frac{3,200.00}{365 \times 30}$) \$ 0.29/M³.

Gasto Variable Total \$ 12.80/M³.

Con los costos fijos y variables obtenidos, procedemos a calcular por medio de la siguiente fórmula, el costo del metro cúbico de - agua producto, tomando en consideración hasta un 10% de su producción en un momento dado.

$$C = (F + Vr) \frac{1}{r}$$

C = Costo del metro cúbico de agua producto.

F = Costo fijo por metro cúbico al 100% de producción.

V = Costo variable por metro cúbico al 100% de producción.

r = Por ciento (%) de capacidad productiva.

$$F = \frac{86,457.00}{9900} = \$ 8.73/M3.$$

$$V = \$ 12.80/M3.$$

$$C_{100\%} = 8.73 + 12.80 = 21.53/M3.$$

$$C_{90\%} = (8.73 + 12.80 \times 0.90) \frac{1}{0.90} = \$ 22.50/M3.$$

r (%)	Capacidad productiva (M3/día)	C (\$/M3)
100	30	21.53
90	27	22.50
80	24	23.72
70	21	25.28
60	18	27.35
50	15	30.25
40	12	34.63
30	9	41.91
20	6	56.46
10	3	100.13

CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para solucionar la dotación de agua de buena calidad en lugares donde los sistemas de bastecimientos usuales resultan antieconómico, se han propuesto los procesos de desalación: Proceso Térmico (Evaporación Solar, Instantanea, Múltiples Efectos, Congelación y Compresión de Vapor); Proceso Eléctrico (Electrodialisis); Proceso Químico (Intercambio Iónico); Proceso Mecánico (Osmosis Inversa).

Para la determinación de la capacidad y tipo de proceso que en un lugar se requiere, es necesario contar con los estudios: -- Socio-Económico y Técnico, los cuales son llevados a cabo por la Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas.

El tipo de proceso que la tesis trata es el de Osmosis Inversa. Para la demostración del proceso, se tomó como ejemplo un lugar que presenta las características adecuadas. El proceso se resume como el rompimiento del equilibrio molecular del agua salobre, al aplicarsele una presión tal que a través de una membrana semipermeable, existe la separación de los sólidos con las moléculas del agua. El éxito de este proceso radica en la membrana, siendo prácticamente el 80% del sistema. Para la fabricación de la membrana, se ha empleado diversidad de materiales, que presentan condiciones apropiadas para tal fin, tales como las poliamidas.

Otro aspecto importante dentro del proceso, es el pretratamiento, el cual consiste en aplicar sustancias al agua que alimentará los permeadores, para el ablandamiento de ciertos sólidos. Si el pretratamiento no es el adecuado, existe el peligro de incrustación en la membrana, el cual hace que esta sea tratada, cuando exista solución a su incrustamiento. Los casos comunes de incrustaciones con

agua salobre son debido a los carbonatos y sulfatos de calcio, sulfato de bario, estroncio y sílice.

Para que el equipo de la planta desaladora funcione adecuadamente, es necesario contar con un sistema de limpieza, que aplicado periodicamente, evite el ensuciamiento de los mismos. Como quedó explicado anteriormente, el permeator es el elemento primordial de la planta desaladora, por lo tanto es el que requiere de mayor cuidado.

En la actualidad dicho proceso, está siendo aplicado al agua de mar, con los resultados hasta hoy muy prometedores, esperando en un futuro próximo la solución no solamente al agua de mar, si no a las aguas residuales.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- La Sed del Mundo
Cyril Gomella
Editorial Labor.
- 2.- Boletín Técnico
Dupont Company.
- 3.- Manual de Limpieza para Osmosis Inversa
Dirección General de Aprovechamiento de Aguas
Salinas
México, D.F.
- 4.- Manual Dow Dowex
Ro. 4K
- 5.- Estudio Técnico-Económico
Dirección General de Aprovechamiento de Aguas
Salinas
Mexico, D.F.
- 6.- Química General Moderna
José A. Babor, José Ibarz Aznarez
Editorial Marín.
Barcelona, España.